



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

도시계획학 석사학위논문

# U-turn 운영을 위한 교차로 특성별 버스정지선 후퇴거리 분석

-도시부 중앙버스전용차로를 중심으로-

## A Study on Backing Up the Bus Stop Line to Operate U-turn by Intersection Attributes

- Focused on Median Exclusive Bus Lane in Urban  
area -

2013년 02월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과

박 정 환

# U-turn 운영을 위한 교차로 특성별 버스정지선 후퇴거리 분석

지도교수 이 영 인

이 논문을 도시계획학 석사 학위논문으로 제출함  
2012년 10월

서울대학교 대학원  
환경계획학과 교통관리전공  
박 정 환

박정환의 도시계획학 석사 학위논문을 인준함  
2013년 12월

위원장 김 성 두 (인)

부위원장 김 강 원 (인)

위원 이 영 인 (인)

## 국문초록

2004년 7월 이후 대중교통체계 개편으로 수도권 일대를 중심으로 중앙버스전용차로제를 점차 확대 시행되고 있으며, 이로 인해 버스 통행속도 향상 및 정시성 확보되고 있으며 대중교통이용자의 만족도는 점차 높아지고 있다.

하지만 도시부 교차로 상에서 버스통행 이외의 차량들은 극심한 지정체를 야기하고 있고, 이를 해결하기 위한 방안은 미비한 실정이다. 지정체 해소를 위한 방안으로 신호운영체계 개편에 많은 노력을 기울이고 있으나, 중앙버스전용차로의 버스정지선을 적절히 후퇴하여 교차로 운영의 효율성을 고려하는 방안에 대하여는 많이 강구되고 있지 않은 현실이다. 기존의 P-turn과 부도로상에서 U-turn등의 불필요한 우회경로를 제공하였던 통행에 대하여 중앙버스 전용차로를 적절히 후퇴하여 효율적으로 운행할 경우 교차로의 차량 소통을 원활히 할 수 있을 것이다. 또한 U-turn과 좌회전차량의 해소를 통해 기존에 우회경로로 제안하고 있는 주택가 이면도로의 보행자 안전성 및 통과차량에 의한 소음이 감소하여 보행자 및 거주자의 삶의 만족도를 향상시킬 수 있을 것이다.

이에 본 논문에서는 중앙 버스 전용차로제 적용구간의 효율적인 교차로 운영을 위해 좌회전과 U-turn차량의 이동이 가능함을 전제로 하여 버스 정지선 후퇴거리 방법론을 정립하여 제시하였다. 분석대상으로는 현재 서울시 강남권 일대 4개 교차로(고속터미널 사거리, 강남역 사거리, 논현역 사거리, 뱅뱅사거리)를 대상으로 선정하였다.

본 연구의 분석 방법은 다음과 같다. 우선 중앙버스 정지선 후퇴거리 산정에 대한 설계요소를 정의하였는데 인지·반응시간과 시거, 딜레마존, 회전차량을 위한 곡선반경, U-turn 차량의 최소회전반경 등이며, 이를 통해 교차로별 설계요소를 적용하여 분석하였다.

이에 앞서 우선적으로 고려되어야 하는 기준이 있다. 교차로는 차로 폭이나 통행속도에 따라 차량운전자의 인지·반응시간 크게 좌우된다. 이로 인해 차량이 통행하기 위한 적정 황색시간이 길어지게 되며, 이를 해소하기 위한 딜레마존의 범위확대로 주변차로의 출발차량과 측면사고를 초래할 수 있다. 이러한 문제점으로 인해 딜레마존을 모든 교차로의 정지선 후퇴거리로 산정하는 것은 차량의 통행을 지체하게 되어 운영효율성을 저하시키기 때문에 딜레마존에 대한 방법론을 적용함에 있어 몇 가지 기준을 제시하였다.

U-turn 최대 허용길이인 18m를 기준으로 하여 차량 속도 및 교차로 폭을 제한하여 딜레마존에 대한 방법론 적용여부를 정의하였으며, 승용차 통행속도를 기준하여 교차로 폭이 약 32m를 초과하는 교차로는 방법론을 제외한다. 또한 횡단보도가 설치된 교차로 역시 통과 폭이 길어지게 되어 곡선반경이 충분히 확보되어 정지선 후퇴대상에서 제외된다.

이러한 기준으로 교차로 기하구조 및 차량 통행 측면을 고려하여 정지선 후퇴 방법론을 적용하였으며, 분석결과 정지선 후퇴거리는 횡단보도가 없고 교차로 폭이 최대 허용 기준치 이하인 지역은 10m 내외의 정지선 후퇴값을 나타내었다. 특히 고속터미널(정지선 후퇴거리 : 10.8m)과 강남역(정지선후퇴거리 : 9.7m)을 비교한 결과 정지선 후퇴거리의 차이에 대한 원인으로는 교차로 내 차량의 통행속도와 교차로 폭이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

또한 횡단보도가 미설치되어있으나, 논현역(교차로 폭이 최대 허용 기준치 이상)과 뱅뱅사거리(횡단보도 설치로 인해 교차로 폭이 최대허용 기준치 이상, 곡선반경 충분히 확보)는 딜레마존과 곡선반경에 대한 방법론이 적용되지 않고 인지반응시간과 U-turn차량의 최소회전반경을 적용한 방법론만 적용되어 정지선 후퇴거리는 각각 6.46m, 6.34m로 분석되었다.

본 논문의 한계 및 향후과제는 다음과 같다.

첫째, 버스 정지선 후퇴로 인해 발생될 수 있는 버스 차량의 정체 가능성과 효율적 신호 운영방안, 좌회전 및 U-turn 적용으로 인한 교차로 서비스 수준 변화분석, 회전유형별 속도변화 등에 대한 추가적인 분석을 할 필요가 있다.

둘째, 교차로 인근 차로 중앙에 정류장 설치되어 있는 경우 적정 시거 확보를 위한 추가적으로 중앙버스전용차로 정지선 후퇴거리를 분석을 하여야 할 것이다.

셋째, U-turn 및 좌회전 차로 운영에 따른 단일/복수 교차로 및 전체 네트워크 측면을 다양하게 분석할 필요가 있을 것으로 고려된다.

마지막으로 기존 중앙버스전용차로 내 정지선 후퇴길이 적용에 대한 평가지표를 선정 후 시뮬레이션 분석을 통한 교차로 평가 수행하여 정지선 후퇴로 인한 교차로 운영효율성에 대한 연구가 강구되어야 할 것이다.

◆ 주요어 : 중앙버스 전용차로, U-turn, 정지선 후퇴거리, 인지·반응시간, 시거, 딜레마존, 곡선반경, 속도

◆ 학번 : 2010-22313

## [목차]

I. 서론 .....	1
1. 연구 배경 및 목적 .....	1
2. 연구의 범위 및 방법 .....	4
II. 기존연구의 고찰 .....	5
1. 이론적 고찰 .....	5
1) 중앙버스전용차로 설계 일반사항 .....	5
2) 중앙버스 전용차로 교차로 회전처리 유형 .....	8
2. 선행연구 고찰 .....	9
1) 중앙버스전용차로 관련 선행 연구 .....	9
2) 교차로 내 회전 이동류 관련 선행 연구 .....	10
3) 중앙버스전용차로 정지선후퇴 관련 선행연구 .....	12
III. 중앙버스정지선 위치 설정 연구 방법론 .....	15
1. 연구 알고리즘의 개요 .....	15
2. 인지 · 반응시간과 시거 .....	20
1) 인지 · 반응시간 .....	20
2) 시거 .....	21
3) 인지 · 반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이 산정 .....	22
3. 딜레마존 .....	24

4. U-turn을 고려한 차량의 최소회전반경 .....	26
5. 곡선반경 .....	29
1) 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 모두 곡선반경보다 큰 경우 .....	30
2) 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 중 하나만 곡선반경보다 큰 경우 .....	32
3) 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 모두 곡선반경보다 작은 경우 .....	33
 <b>IV. 방법론 적용 .....</b>	<b>34</b>
1. 방법론 적용 대상 선정 .....	34
2. 인지·반응시간과 시거를 고려한 중앙버스정지선 후퇴길이 .....	41
3. 딜레마존을 고려한 중앙버스정지선 후퇴길이 .....	44
4. U-turn 차량의 최소회전반경을 고려한 정지선 후퇴길이 .....	47
5. 곡선반경을 고려한 중앙버스전용차선 정지선 후퇴길이 .....	48
6. 방법론 적용 결과 .....	51
 <b>V. 결론 및 향후과제 .....</b>	<b>53</b>
 ■ 참고문헌 .....	56



## [표 차례]

[표 2-1] 버스전용차로의 종류 .....	6
[표 2-2] 중앙버스전용차로제 구성요소별 설치 형식 .....	7
[표 2-3] 설계기준 자동차 종류별 제원 .....	8
[표 2-4] 기존문헌과 본 연구와의 차별성 .....	14
[표 3-1] 중앙버스전용차로 정지선 후퇴 산정시 입력자료 .....	16
[표 3-2] 중앙버스전용차로 정지선 후퇴 설계요소별 구분 .....	17
[표 4-1] 고속터미널 사거리 차로수 현황 .....	37
[표 4-2] 강남역 차로수 현황 .....	39
[표 4-3] 논현역 차로수 현황 .....	40
[표 4-4] 뱅뱅사거리 차로수 현황 .....	40
[표 4-5] 교차로별 통행속도 현황(2011.09.27) .....	42
[표 4-6] 인지반응시간과 시거를 적용한 정지선 후퇴거리 산정 ·	44
[표 4-7] 딜레마존 산정을 위한 입력자료 .....	45
[표 4-8] 딜레마존을 고려한 교차로별 정지선 후퇴거리 .....	46
[표 4-9] U-turn을 고려한 교차로별 최소회전 반경 .....	47
[표 4-10] 곡선반경을 고려한 교차로별 정지선 후퇴길이 .....	49
[표 4-11] 설계요소별 중앙버스전용차로 정지선 후퇴거리 적용결과 .....	52

## [그림 차례]

[그림 1-1] 연구 흐름도 .....	4
[그림 3-1] 중앙버스전용차로 정지선 후퇴시 설계요소 .....	15
[그림 3-2] 중앙버스전용차로 정지선후퇴 알고리즘 .....	19
[그림 3-3] 중앙버스정지선후퇴 개념도(인지반응시간) .....	21
[그림 3-4] 중앙버스정지선후퇴 개념도(최소시거삼각형) .....	22
[그림 3-5] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이 선정 .....	23
[그림 3-6] 중앙버스정지선후퇴 개념도(딜레마존) .....	25
[그림 3-7] 딜레마존 길이 산정 방법론 .....	25
[그림 3-8] 중앙버스전용차선내 U-turn 최소화전반경 개념도 .....	26
[그림 3-9] U-turn을 고려한 차량의 최소화전반경 방법론 .....	28
[그림 3-10] 진출입 모두 곡선반경보다 큰 경우 Case 1 .....	30
[그림 3-11] 진출입 모두 곡선반경보다 큰 경우 Case 2 .....	31
[그림 3-12] 진출입 중 하나만 곡선반경보다 큰 경우(한쪽만 후퇴) .....	32
[그림 4-1] 정지선 후퇴 방법론 적용지역(고속터미널, 강남역) .....	35
[그림 4-2] 정지선 후퇴 방법론 적용지역(논현역) .....	35
[그림 4-3] 정지선 후퇴 방법론 적용지역 (뱅뱅사거리) .....	36
[그림 4-4] 고속터미널 사거리 기하구조 .....	37
[그림 4-5] 강남역 사거리 기하구조 .....	38
[그림 4-6] 논현역 사거리 기하구조 .....	39

[그림 4-7] 뱅뱅사거리 기하구조 .....	41
[그림 4-8] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(고속터미널) ...	43
[그림 4-9] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(강남역) ..	43
[그림 4-10] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(논현역) ..	43
[그림 4-11] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(뱅뱅사거리) ...	44
[그림 4-12] 딜레마존을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(고속버스터미널) ...	46
[그림 4-13] 딜레마존을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(강남역) .....	46
[그림 4-14] U-turn 차량의 최소회전반경(고속터미널) .....	48
[그림 4-15] 곡선반경을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(고속터미널) ...	49
[그림 4-16] 곡선반경을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(강남역) ..	50

# I. 서론

## 1. 연구 배경 및 목적

우리나라의 도시부내 신호주기는 교차로를 통행하는 차량의 지정체를 일으키는 주요 원인 중에 하나이다. 이로 인해 도시부 교통 네트워크의 혼잡시간대에 빈번한 지정체가 야기되고 있으며, 사회·경제적인 손실이 발생하고 있다.

교통측면에 있어 이러한 교통혼잡비용의 최소화하기 위해 개인차량의 이용을 억제하고 대중교통이용을 장려하는 대중교통체계 개편을 시행하였다. 이를 위해 서울시는 대중교통 활성화정책의 일환으로 일반차량보다는 버스에 통행우선권을 부여하여 대중교통 이용승객의 편의성을 증진시키기 위한 방안 중 하나로 중앙버스 전용차로를 설치하였다.

2004년 7월 이후대중교통체계 개편으로 수도권 일대를 중심으로 중앙버스전용차로제를 점차 확대 시행하고 있으며, 이로인해 버스전용차로를 운행하는 버스의 통행속도가 향상되고 있으며, 대중교통의 정시성 확보로 인해 버스를 이용하는 시민의 만족도는 점차 높아지고 있는 현실이다.

하지만, 현재 중앙버스 전용차로는 속도 및 정시성 등에 광역적 측면에 있어 효율적이나 도시부내 일부 교차로상에서 좌회전과 U-turn 차량에 대하여 고려하고 있지 않고 있다. 도시부 교차로의 회전교통류에 대한 P-turn 및 부도로에서 U-turn을 통한 주도로로 진입을 하고 있으며, 이는 불필요한 이면도로 통행으로 민원제기가 빈번하게 일어나고 있으며, 부도로의 차량혼잡을 야기시키고 있다.

뱅뱅사거리 교차로의 경우, 현재 U-turn을 금지하고 있으며, 차량이 현재 주행방향의 반대로 운행하기 위해서는 이면도로를 통과한 후 부도

로상에서 좌회전하는 P-turn 방식으로 운영되고 있다. P-turn은 상충지점을 최소화 할 수 있는 우회방법이나, 뱅뱅사거리 교차로처럼 매시간 통행량이 많은 지점에 있어 회전용량을 충분히 고려하지 않고 이면도로 상에 차량이 운행하게 되어 보행자의 안전성을 위협하게 되며, 또한 이면도로 내 소음으로 인한 민원이 제기되고 있다.

이러한 교차로의 통행 기존의 이면도로상에서의 P-turn으로 인해 차량은 약 800m를 이동하게 되나, 중앙버스전용차로의 정지선을 후퇴하여 U-turn을 적용할 경우 회전교통류는 5m 이내로 이동거리가 단축된다. 통행시간 역시 평균 5~10분, 첨두시는 20분 이상 단축이 가능하게 되어 회전차량의 원활할 흐름으로 인해 교차로 효율성을 증진시킬 수 있을 것이다.

중앙버스 전용차로의 U-turn의 금지로 인해 버스통행이 적은 시간대에 일반차량이 불법 U-turn으로 인한 대형사고가 종종 발생하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 교통신호운영 및 도로 운영체계의 효율성이 요구되고 있으며, 경찰청에서는 도시부내 좌회전 운영의 효율성을 증진시키기 위해 직진신호와 좌회전신호를 별도로 구분하여 시행하고 있다. 또한 U-turn과 P턴을 확대하여 좌회전 교통량을 별도로 처리하여 신호운영체계를 개선할 계획이라고 공시하고 있다. 하지만 모든 교차로에 회전교통류를 제약하는 정책은 교차로 효율성 저하와 불필요한 차량의 이동으로 인한 연료비, 대기오염비용 등의 사회적비용이 낭비되어 적절하지 못한 방안이라고 할 수 있다.

신호운영체계 개선(직진 신호와 좌회전 신호 부여)이외의 다른 방안으로 중앙버스 전용차로의 버스정지선을 적절히 후퇴하여 좌회전 신호시 U-turn 차량과 좌회전 차량을 효율적으로 운행하여 교차로의 차량소통을 원활히 할 수 있을 것이다. U-turn과 좌회전차량의 해소를 통해 기존에 우회경로로 제안하고 있는 주택가 이면도로의 보행자 안전성 및 통과차량에 의한 소음이 감소할 것이다.

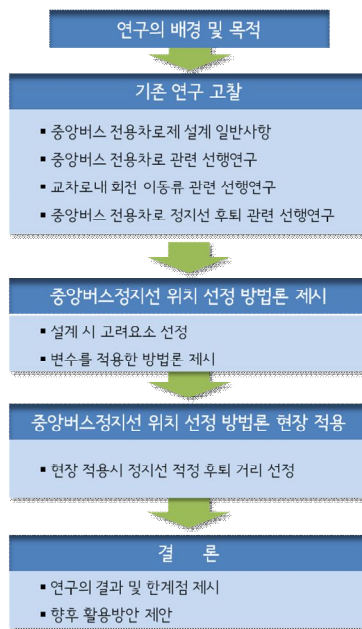
이에 본 연구는 현재 중앙 버스 전용차로제 적용구간의 효율적인 교차로 운영을 위해 교차로내 좌회전과 U-turn차량의 이동이 가능함을 전제로 하여 버스 정지선 후퇴거리 방법론을 정립하여 제시하고자 한다.

또한 버스전용차로 정지선을 일부 교차로에서 적용하여 시행하고 있으나, 이는 교차로의 기하구조나 차량의 통행특성을 전혀 고려하지 않고 약 6~7m의 정지선을 일괄적으로 후퇴하고 있다. 교차로 기하구조적 측면에 있어 횡단보도 유무나 교차로 폭, 차량 속도 등에 대해 충분히 고려한 후 버스전용차로 정지선 후퇴에 대한 방법론을 정의한 후 기하구조가 다른 대표성이 있는 일부 교차로에 대하여 방법론을 적용한 후 설계요소 적용가능여부에 대한 기준을 제시하였다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

도시부내 버스전용차로에 대한 설계 기준 및 운영현황과 관련 문헌을 검토하고, 버스 정지선 후퇴거리 산정을 위해 본 연구에서는 교차로 기하구조, 시거, 인지반응시간, 딜레마존, U-turn에 대한 설계기준, 설계차량 제원, 교차로별 통행속도 등을 변수로 선정한다.

다음으로 기본 변수를 적용하여 교차로 상에서 각 요소별 버스전용차로 정지선 후퇴 방법론을 제시하며, 실제 서울시 강남권 일부 교차로들을 대상으로 방법론을 적용한다. 결론으로 연구의 결과를 방법론 적용 교차로별 정지선 후퇴거리를 제시하며, 정지선 후퇴에 있어 설계요소별 교차로 상에 적용에 관한 설계요소별 기준을 제시한다. 또한 연구수행시 한계점을 분석하여 향후 연구에 대한 기틀을 마련한다. 또한 버스전용차로 정지선 후퇴 방안에 대한 활용방안을 모색하도록 한다.



[그림 1-1] 연구 흐름도

## II. 기존연구의 고찰

중앙버스전용차로 정지선 후퇴에 관련하여 현재 연구가 미비한 실정이다. 또한 중앙버스전용차로가 운영되고 있는 꾸리찌바(브라질), 보고타(콜롬비아), 타이페이(대만), 나고야(일본), LA/보스턴(미국) 등의 해외 도시에서도 U-turn과 좌회전 차량에 대한 구체적인 운영방안을 마련하고 있지 않는 것으로 조사되었다.

이에 본 논문은 버스전용차로에 관한 선행연구를 수행하고, 중앙버스전용차로에 대한 설계기준 및 설계차량, 교차로 회전처리 등에 대한 이론적 고찰을 하였으며, 교차로상에서 회전류 처리방안을 위한 선행 연구를 고찰해 보았다. 마지막으로 본 연구와 가장 유사한 주제를 갖고 있는 오훈(2006)의 중앙버스 정지선 후퇴에 관한 연구를 세부적으로 차별성을 들어 분석하였다.

### 1. 이론적 고찰

#### 1) 중앙버스전용차로 설계 일반사항

중앙버스 전용차로는 버스전용차로의 종류<sup>1)</sup>는 가로변 버스전용차로, 역류 버스전용차로, 중앙버스전용차로로 구분되며 세부 정의는 [표 2-1]과 같다.

중앙버스전용차로제를 실시하기 위한 설치요건으로 버스교통량이 170대/시, 편도 3차선이상 도로에서 운영가능하며, 타 차량의 진입을 막기 위해 중앙분리대 및 가드레일 등의 물리적 시설을 설치하는 방안으로 브라질, 일본 등의 해외에서 운영되고 있다.

---

1) 버스전용차로 평가 및 개선방안, 서울시정개발연구원, 1997, p.12~15



[표 2-1] 버스전용차로의 종류

구 분	정 의
가로변 버스전용차로	양방향 및 일방향의 가로변 차로를 대상으로 운영
역류 버스전용차로	일반 교통류와 반대방향으로 1~2차로에 버스 전용차로 운영
중앙 버스전용차로	기존도로의 중앙차로를 버스 전용으로 통행할 수 있도록 물리적 시설을 설치하여 일반차량의 진출입을 제한하는 방식

중앙버스전용차로는 기존 도로의 중앙에 전용차로와 정류장을 제공하여 일반차량과의 마찰을 최소화 하며, 지정체가 심한지역에 가로변 전용차로보다 시행효과가 높고 기존도로여건에서 버스전용차로 운영효과가 가장 높은 방안이다. 하지만 중앙에 설치된 버스정류장으로 인한 안전성 문제, 안전시설 및 부가되는 신호기 설치로 인한 비용이 많이 소요되는 단점이 있다.

또한 중앙버스전용차로 관련 BRT 설치형식<sup>2)</sup>은 기본적으로 BRT 도입지역의 도로 및 교통여건과 기능적 요구수준에 따라 결정된다고 제시하였다. 일반적으로 중앙버스전용차로제 적용하는데 있어 도로 입체화 및 BRT 우선신호를 적용하지 않아도 되며, 환승시설이 필수적으로 고려되지 않아도 되므로 시행하는데 어려움이 없다.

2) 간선급행버스체계(BRT) 설계지침 연구보고서, 한국건설교통기술평가원, 2006, p.13

[표 2-2] 중앙버스전용차로제 구성요소별 설치 형식

구분	BRT 자동차	주요진출입부 및 교차로		전용차로 (전용도로 포함)	환승시설	운영관리 시스템
		입체화/ 전용램프	BRT 우선신호			
중앙버스 전용차로	X	X	X	O	X	△

중앙버스 전용차로의 구성은 기본적으로 BRT차로, 일반차로, 보도로 구성되어있으며, BRT차로는 중앙에 위치하여 버스차량의 직진통행을 원활하게 하여 타수단과의 독립적인 통행을 통한 우선권을 부여하게 된다. 이로 인해 버스의 정시성 확보 및 통행속도 증가 효과가 나타나게 된다.

중앙버스 전용차로에 대해 안전성을 고려하여 차로폭의 설계기준은 서울시의 경우 최소 3.0m 이상 설치되어야 하며, 정차대폭은 3~3.25m, 추월 차로폭은 3.25m를 설계기준으로 제시하고 있다. 또한 곡선부 최대 편경사에 있어 도시지역 6%를 기준으로 하고 있으며, 이는 원심력으로 운전자가 회전통행에 있어 불쾌감을 느끼지 않고 통행할 수 있다고 제시하고 이를 적용하고 있다.

정류장간격은 지역에 따라 차이가 있으나 주요도시부 300m, 도시부 350m, 도시근교 750m, 지방부 800m를 최소 간격으로 제시하고 있으며, 이는 안전성과 편리성, 속도, 용량을 최대화하고 정류장 접근에 따른 도보거리를 최소화하는 기준으로 지역별 구분하였다. 일부 경기도 지역의 경우 보행권이 0.5km 소요됨을 적용하여 0.5~1.0km 간격으로 정류장을 설치하여 운영하고 있다.

BRT 설계기준시 기준이 되는 자동차는 대형자동차(버스 및 굴절버스)로 정의되어 있으며, 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서는

설계기준 자동차별 제원을 다음 [표 2-3]과 같이 정의하였다. 이중 중앙버스전용차로는 대형차량과 기존에 운행하였으나 현재 거의 운행되고 있지 않는 굴절버스를 설계기준 자동차로 하고 있다.

[표 2-3] 설계기준 자동차 종류별 제원

제원(m) 자동차별	폭	높이	길이	축간거리 (축거)	앞내민 길이	뒷내민 길이	최소 회전반경
소형자동차	1.7	2.0	4.7	2.7	0.8	1.2	6.0
대형자동차	2.5	4.0	13.0	6.5	2.5	4.0	12.0
세미트레일러	2.5	4.0	16.7	앞 4.2 뒤 9.0	1.3	2.2	12.0

주) 축간거리 : 앞바퀴 차축의 중심으로부터 뒷바퀴 차축의 중심까지의 길이  
 앞내민길이 : 자동차의 전면으로부터 앞바퀴 차축의 중심까지의 길이  
 뒷내민길이 : 뒷바퀴 차축의 중심으로부터 자동차의 뒷면까지의 길이

## 2) 중앙버스 전용차로 교차로 회전처리 유형

교차로 통행차량의 회전처리 유형을 세 종류로 구분하고 있다. ① 좌회전 제약 ② 좌회전 허용 ③ 회전교차로(Roundabout)이며, 좌회전 제약의 경우 교차로 물리적 여건(횡단폭원)이 좌회전 차로를 설치하는데 있어 부적합할 경우에 설치가능하며, 좌회전차로를 해소하기 위해 부득이한 경우 P-turn 등의 회전처리방법을 이용한다. 좌회전 허용의 경우 좌회전 차로 폭, 차로길이, 접근로 테이퍼 길이 등을 만족할 경우 운영가능하다고 제시<sup>3)</sup>하였으며, 회전교차로의 경우 도로 주변의 토지활용 가능한 경우 사용이 가능하며, 차량의 통행처리를 하는데 있어 가장 안전한

3) 간선급행버스체계(BRT) 설계지침 연구보고서, 한국건설교통기술평가원, 2006, p.99

방안이나, 토지나 도로설계 및 포장으로 인한 투자비가 많이 소요되는 어려움이 있다.

## 2. 선행연구 고찰

### 1) 중앙버스전용차로 관련 선행 연구

임준범(2012)은 중앙버스전용차로와 가로변버스전용차로에 있어 사고의 영향을 미치는 요인에 대하여 연구하였으며, 분석방법으로는 음이항 회귀모형을 적용하였다. 현재 서울시의 버스전용차로 구간을 대상으로 자료(사고건수, 교통·시설)를 수집하고 버스사고에 대한 특성변수를 도출하였다. 중앙버스전용차로에 대하여 음이항 회귀모형을 적용한 결과 버스사고건수에 대하여 버스노선수, 중앙차로 진출입수, 중앙차로 정지선 후퇴 유무, 정지선과 횡단보도 이격거리, 교통량, 가변정류장 정차노선수 등이 유의한 변수로 제시하였다. 중앙버스 전용차로가 정지선을 후퇴하지 않을 경우 좌회전 차량이 회전시 버스의 동일차선에 위치하여 시거를 충분히 확보하지 못해 사고가 발생하게 되며, 버스전용차로의 정지선 후퇴시 사고에 유의한 영향 즉, 정지선 후퇴로 인해 기존의 정지선 미 후퇴할 경우에 비해 사고가 감소할 확률이 높다는 것을 의미한다고 설명하였다.

정만근(2008)에서는 중앙버스전용차로 시행으로 긍정적인 효과를 거두었으나, 제한된 도로상에 중앙버스전용차로를 설치·운영함으로 인해 많은 문제점이 있음을 언급하였다. 이에 실제 중앙버스전용차로를 운영하고 있는 도봉·미아로 교차로를 대상으로 기하구조 및 속도, 신호등의 교통현황 및 운영실태를 파악하여 신호운영이나 도로용량 등에 대한 측면마찰 최소화와 도로 기하구조 및 신호운영의 개선방안을 마련하였다. 개선방안에 대한 시뮬레이션 분석결과 통행속도가 증가하였다고 분석하였으며, 기하구조 및 신호운

영을 1단계로 측면마찰최소화를 2단계로 구분하여 분석한 결과 오전 첨두시 1단계에 개선, 오후 첨두시에는 2단계의 개선이 효과가 있다고 제시하였다.

## 2) 교차로 내 회전 이동류 관련 선행 연구

주영수(2010)는 기존에 차량의 실제 주행특성 분석을 기초로 하여 도로 횡단에 관한 구성요소를 제시하고 있지 않다고 언급하고 있으며, 도시부 곡선 도로상에서 실제 운행 중인 차량을 대상으로 차량 주행궤적을 조사, 횡방향 이격량을 분석하고 각 차량의 평균 차량 폭을 합산하여 곡선부 도로 차로 내 주행하는데 필요 소요차로 폭을 산정하였다. 횡방향 이격 분석결과 누적분포 85% 기준으로 소형 차량 0.69~0.92m, 대형 0.47~0.9m 이격하여 주행한 것으로 조사되었다. 또한 차로 내 소요차로 폭 산정결과 소형 2.3~2.58m, 대형차량 0.8~3.27m로 산정되었다. 이에 곡선부상에서는 최소 2.9m의 차로 폭이 설계되어야 안전하게 차량이 회전할 수 있음을 제시하였다.

박광원(2009)은 서울의 복잡한 도시부 교차로 네트워크에 있어 U-turn의 신호운영의 중요성을 강조하고 있으며, U-turn에 영향을 미치는 요인(교통량, 회전비율, 링크길이, 차로 수)에 대한 변수를 설정하여 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용하여 교차로 내 U-turn 운영기준을 정립하였다. 링크길이가 짧은 교차로(300m)상에서는 좌회전 교통량이 많을수록 U-turn을 적용하는 것이 효율적이며, 반대로 링크길이가 긴 교차로(500m)인 경우 U-turn을 적용 시 통행시간이 증가한다고 제시하였으나 3개 교차로를 대상으로 시뮬레이션 분석을 수행하여 복잡한 도시부 내에 적용하는데 있어 한계점이 있다고 언급하였다.

이정환(2008)은 U-turn 운영 시 차량의 통행량이 증대할 수 있으나 이에 대한 명확한 설치기준이 마련되어 있지 않다는 점을 문제점으로 제시하였으며, U-turn 허용구간에 대한 적정길이 및 위치를 분석하였다. 첫째로 차

량의 정지시거와 좌회전 차량들의 대기행렬길이를 고려한 U-turn 허용구간과 전방교차로와의 적정이격거리를 분석하였으며 모의실험 결과 13~67m의 이격거리를 제시하였다. 또한 현장조사를 통한 U-turn 차량의 상충행태를 분석하여 U-turn 허용구간 길이를 산정하였으며, 모의실험결과 19.7~32.38m로 제시하고 있어 이는 기존 U-turn 허용구간 길이인 6~18m와 큰 차이가 있다.

김기용(2000)은 국내 교차로 설계 시 좌회전 궤적에 대한 연구가 미비하다는 점을 언급하였으며, 좌회전 궤적에 대한 설계기준이 충분히 마련되어 있지 않아 교차로 용량의 저하 및 추돌사고의 위험성을 지적하고 있다. 부적절한 좌회전궤적의 설치를 방지하기 위한 방안 중 하나로 물방울교통섬을 제시하였으며, 실제 물방울 교통섬이 적용된 교차로를 대상으로 연구방법론을 적용하여 차량 궤적에 따른 정지선 위치를 제시하였다. 물방울 교통섬의 설계방법은 교차각이 75°미만, 105° 초과, 75°~105°, 예각, 둔각인 경우로 구분하여 정지선 설계 기준을 제시하였다. 물방울 교통섬의 설치 전후를 비교한 결과 정지선은 약 10m 후퇴한다고 제시하였다.

문재필(1998)은 교차로의 용량증대와 지체감소를 위해 P-turn, U-turn 등 우회 경로를 통한 신호 현시 수 및 상충 감소 효과로 교통소통이 가능하며 안전측면에 있어 좋다고 설명하고 있고, 좌회전 금지 시 우회 경로에 대한 운영 방안은 많이 연구되고 있으나 U-turn에 관한 연구가 미흡하다고 제시하였다. 이에 U-turn 전용차로의 효율적 운영을 위한 U-turn 이동류의 특성과 다중 U-turn의 용량 증대 효과를 분석하였다. U-turn 효율적 운영에 필요한 차두시간 분석결과 2.53~2.74초로 분석되었고, U-turn 차량의 출발손실시간은 1.57초(세번째 차량 이후 출발손실시간이 발생되지 않음), U-turn 이동류의 승용차 환산계수는 대형차 혼입 비율별로 구분하여 분석하여 정의 하였다. 또한 U-turn 허용길이에 따른 포화교통류율의 변화 분석 결과 U-turn 허용길이가 증가할수록 포

화교통류율 점진적으로 증가한다고 언급하였다.

### 3) 중앙버스전용차로 정지선후퇴 관련 선행연구

버스전용차로내 정지선 후퇴에 관한 연구는 오훈(2006)의 연구 외 미비한 실정이다. 오훈(2006)은 버스정지선 후퇴 선정방안으로 시거삼각형, 신호현시에 따른 딜레마존 길이 비교 등을 고려하였으며, 정지선 후퇴길이로 7.2m를 제시하였다.

본 연구와 가장 연구방법이 오훈(2006)의 “중앙 버스 전용차로제에 서 일반 차량 좌회전 허용시 버스 정지선 후퇴에 관한 연구”와 설계요소에 대한 정의는 일부 동일하나 각각 요소별 분석방법에 있어 큰 차이점이 있다. 또한 기존논문에서는 U-turn을 전혀 고려하지 않고 있다.

아래 [표 2-4]과 같이 기존문헌과의 차이점에 대해 설계요소별로 정의하였으며, 우선 시거에 있어 기존문헌은 대향차로의 맨 우측차로를 대상으로 하고 있으나, 본 연구에서는 좌회전차량이 가장 우선적으로 주시하여야 할 대향차로 중 맨 좌측차로 차량을 대상으로 하였다. 왜냐하면 현재 대부분의 교차로에서 선 직진 후 좌회전 신호체계로 운영되고 있으며, 직진 후 좌회전차량이 이동하는데 있어 꼬리물기나 신호를 위반하고 직진차량이 횡단할 경우 회전차량과 상충되어 충돌사고가 발생할 수 있는 가장 위험요소이기 때문에 좌회전 차량은 항상 출발전에 주시하여야 할 대상으로 선정하였다.

인지반응시간에 대하여 교통공학원론<sup>4)</sup>에서는 운전자 특성에 대하여 정의하였으며, 외부자극에 대한 인간의 신체적 반응을 지각-반응과정 또는 PIEV과정으로 정의하였다. 실제 운행 중 발생하는 지각-반응시간은 0.5~4.0초 정도이며, AASHTO에서는 안전정지시거를 계산하기 위해 2.5초를 권장하고 있다.

---

4) 도철웅, 교통공학원론, 청문각, 2009, p.41

신호교차로에서는 운전자의 판단시간이 단축되므로, 설계기준 반응 시간을 1.0초로, 비신호 교차로에서는 2.0초를 사용할 것을 권장하고 있으나, 본 연구에서는 대형차량인 버스와 회전차로 내 설계기준 차량인 승용차와의 상충으로 인한 대형사고의 위험적 측면을 차량운전자가 충분히 대응하기 위해 AAHTO에서 제시한 2.5초를 기준으로 안전정지시거를 분석하였다.

U-turn 적용여부에 있어 현재 U-turn을 적용하지 않는 중앙버스 전용차로를 대상으로 기존문헌에서는 U-turn 고려하지 않았으나 본 연구에서는 설계요소로 포함하여 중앙버스전용차로의 정지선 후퇴거리 산정 시 최소기준으로 U-turn을 반영한 최소정지선 후퇴거리를 적용한다. 곡선반경과 관련하여 기존문헌은 단순히 좌회전 차로의 이동거리를 계산하였으나, 본 연구에서는 주도로, 부도로, 곡선반경의 크기에 따라 정지선 후퇴차로가 각각 다르다는 것에 대한 차별성을 두었으며, 딜레마존은 우선 신호에 있어 기존문헌은 신호현시별로 구분하여 분석을 하였으나, 현재 교차로에서 많이 실시되고 있는 선진적 후좌회전 신호체계를 적용하였으며, 대상차량 역시 기존의 버스가 아닌 좌회전 차로상의 승용차를 대상으로 분석하였다. 또한 좌회전 차량이 이동하는데 있어 버스차량과 부도로 직진차량과의 시거를 고려하여 추가적으로 정지선을 후퇴하는 방법론을 제시하였다.

기존 문헌은 방법론 적용대상을 강남역에 한정하여 정지선 후퇴거리를 산정하였으나, 본 연구에서는 교차로별 차별성을 갖는 4개 교차로를 대상으로 하였다. 우선 강남역과 고속버스터미널은 동일 기하구조상 정지선 후퇴거리 차이가 나는 원인을 분석하기 위해 두 교차로를 분석하였으며, 논현역은 교차로 폭이 기존 두 교차로보다 큰 차이가 있어 적용하였고, 나머지 뱅뱅사거리 교차로는 횡단보도가 주도로 부도로 설치되어 있어 이에 각각 특색이 있는 교차로를 대상으로 설계요소별 제약변수를 적용하여 정지선 후퇴거리를 분석하였다.



[표 2-4] 기존문헌과 본 연구와의 차별성

설계요소		기존 문헌	본 연구
시거		대향차로의 맨 우측차로 대상	대향차로의 직진차로 중 맨 좌측차로 대상
인지·반응시간		1초 적용	2.5초 적용
U-turn		미고려	고려
곡선반경	계산 방법	좌회전 차로 이동거리 계산	주도로와 부도로, 곡선반경에 따른 각각 차로별 정지선 후퇴거리 산정
	적용 산정식	$S = 2\pi r/4 \text{ (r:좌회전반경)}$ $S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ (a:가속도, t:이동시간)	원의방정식 ( $x^2 + y^2 = r^2$ )
딜레마존	신호	신호현시별 분석 (선직진 후좌회전, 동시직진좌회전)	현재 운영중인 선직진 후좌회전
	대상 차량	버스	승용차
적용대상		강남역	고속터미널, 강남역, 논현역, 뱅뱅사거리

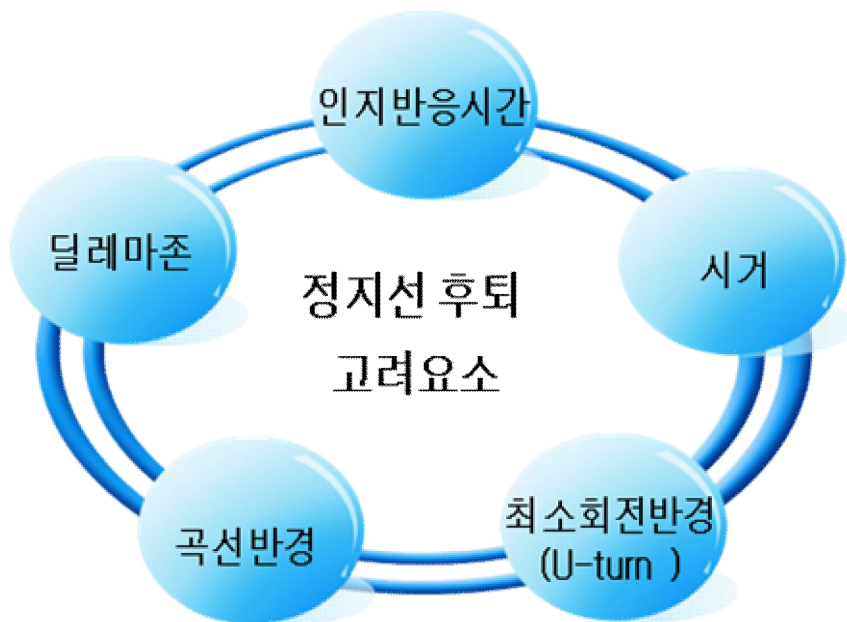
이상의 기존 문헌과 본 연구와의 차별성을 방법론에 제시하였으며, 도로선형에 관련된 설계요소 중 분석 가능한 요소(인지반응시간, 시거, 현시에 따른 딜레마존, U-turn 최소회전반경)을 적용하여, 교차로 내 중앙버스 전용차로의 적정 후퇴거리를 분석하며, 기하구조나 교차로 내 통행속도, 횡단보도 적용 유무에 따라 각각 설계요소별 적용/미적용에 여부를 정의하여 적용하였다.

### III. 중앙버스정지선 위치 설정 연구 방법론

#### 1. 연구 알고리즘의 개요

본 연구에서 개발한 중앙버스전용차로 정지선 후퇴 알고리즘은 기본적으로 도시부 내 교차로 상에서 적용되며, 인지반응시간과 시거, 현시에 따른 딜레마존 길이, 곡선반경, U-turn 차량이 회전하기 위한 차량(승용차 기준)의 최소회전 반경을 기본적인 정지선 후퇴 설계요소로 선정하였다.

교차로에서 중앙버스 전용차로의 현재 운영 중인 신호 현시순서와 신호시간 부도로 상의 시거 등은 본 연구에서는 고정되어 있음을 가정하고 중앙버스정지선 후퇴 길이를 산정하였다.



[그림 3-1] 중앙버스전용차로 정지선 후퇴시 설계요소

도시부내 중앙버스전용차로 정지선후퇴 설계에 필요한 입력자료는 차량속도(승용차 및 버스 통행속도), 교차로 기하구조(차로폭, 교차로 접근로 폭, 교차로 길이 등), 차량 제원 등으로 구분하였으며, 세부적인 입력사항은 아래 [표 3-1]과 같이 구분하였다.

[표 3-1] 중앙버스전용차로 정지선 후퇴 산정시 입력자료

구분	입력값
차량속도	승용차 및 버스 통행속도
교차로 기하구조	차로폭, 교차로 접근로폭, 교차로 길이
차량제원	차량 길이, 주행궤적, 전향각, 앞/뒷 내민길이, 최소회전반경 등

[표 3-2]에서는 중앙버스전용차로의 정지선 후퇴 설계요소별 필수 항목에 대하여 정리하였다. 모든 설계요소에 교차로 기하구조가 반드시 적용되어야 하며, 인지반응시간에 대해 분석할 경우 차량속도와 시거가 고려되며, 딜레마존은 적정 황색신호시간을 분석하기 위한 인지반응시간, 출발인지반응 및 여유시간, 차량속도, 시거 등이 추가적으로 고려된다. U-turn 적용되어 차량이 회전하기 위한 최소정지선 후퇴거리에 대해서는 차량에 대한 제원정보(차량 폭, 전방진행거리, 뒷내민길이 등)이 고려되며, 곡선반경은 교차로 기하구조 중 도로폭과 적정곡선반경을 고려하여 버스전용차로 정지선을 후퇴하게 된다.

[표 3-2] 중앙버스전용차로 정지선 후퇴 설계요소별 구분

설계요소	시거	차량 속도	교차 로 기하 구조	차량 제원 (승용 차, 버 스)	신 호			
					황색 신호	인지 반응 시간	정지 감속도	출발인지 반응 및 여유시간
인지반응 시간	O	O	O			O		
딜레마존	O	O	O	O	O	O	O	O
U-turn			O	O				
곡선반경			O					

다음의 [그림 3-2]에서는 중앙버스전용차로 정지선 적정 후퇴거리 선정 알고리즘 과정이며, 정지선 후퇴 시 분석요소(인지반응시간, 시거, 딜레마존, 곡선반경) 각각에 대한 방법론을 적용하여 정지선 후퇴거리를 산정한 뒤 U-turn차량의 최소회전반경을 정지선 후퇴를 위한 최소기준으로 선정하였다.

알고리즘 순서는 다음과 같다. 우선 인지반응시간과 시거를 적용하여 정지선 후퇴길이를 산정하게 되며, 교차로 기하구조 특성별(횡단보도와 교차로 폭)로 구분하여 딜레마존과 곡선반경의 적용여부를 판단하게 된다. 딜레마존이 길어지는 경우, 즉 적정 황색신호시간이 증가하게 되어 운전자의 정지유무를 판단하기 위한 거리가 길어지게 되며, 그 결과 딜레마존이 정지선 후퇴거리가 되며, 엄청나게 길게 정지선을 후퇴하게 된다. 이어한 방법으로 딜레마존을 적용한 정지선 후퇴 시 교차로간격이 짧은 도시부 교차로 상에서는 운영의 효율성이 저하된다. 이러한 문제점

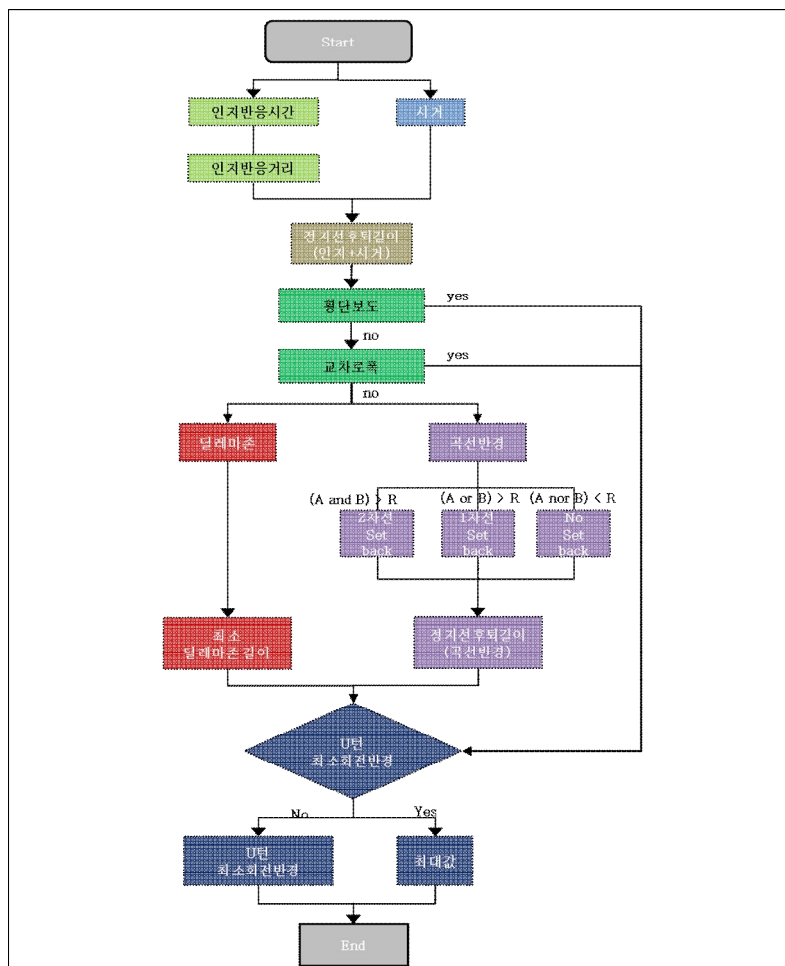
을 해결하기 위해 본 연구에서는 U-turn의 설치기준을 제시하였다. 일반적으로 U-turn 구역선은 승용차를 6m로 기준으로 하여 2~3대의 차량을 포함할 수 있는 12~18m를 기준으로 삼게 된다. U-turn 최대 허용길이인 18m를 기준으로 하여 차량 속도 및 교차로 폭을 제한하여 딜레마존에 대한 방법론 적용여부를 정의하였다. 딜레마존을 적용하기 위한 기준은 차량속도 서울시 통계자료에서 제공되고 있는 교차로 승용차 통행속도(2010년 기준) 17km/h를 적용하여 교차로 폭이 32.3m 이상인 교차로는 딜레마존에 대한 방법론을 제외하게 된다.

이는 교차로 횡단거리가 32.3m 이상이 될 경우 차량 평균 속도가 현재 서울시 평균속도 이상치 값을 갖는 경우 정지선 후퇴거리가 18m 이상이 되어 딜레마존과 곡선반경을 적용하지 않고 인지반응시간과 시거, U-turn 차량의 최소회전반경을 고려하여 정지선 후퇴거리를 산정하게 된다.

또한 횡단보도는 일반적으로 8~10m 폭으로 설치되는데 교차로에 횡단보도가 설치된 경우 횡단보도 미설치지점에 비해 16~20m정도 후퇴된 거리에 정지선이 표시되게 된다. 이로 인해 차량이 정지선으로부터 교차로를 통과하는데 통행거리가 횡단보도 미설치된 교차로에 비해 길어지게 되어 적정 황색신호시간이 길어져 횡단보도 설치된 경우 역시 딜레마존에 대한 방법론이 적용되지 않는다.

곡선반경에 있어 횡단보도가 설치된 교차로는 일반적으로 교차로 내 진입에 대한 곡선반경을 산정하게 되는데, 이는 횡단보도 통과 후에 대한 곡선반경이므로 정지선을 후퇴하는 것은 의미가 없게 된다. 왜냐하면 정지선과 곡선반경사이에 횡단보도가 있어 차량의 회전 시 필요한 이동거리가 충분히 확보되기 때문에 정지선을 후퇴할 필요성이 없기 때문이다. 또한 교차로 폭이 커서 딜레마존이 지나치게 크게 될 경우 역시 위와 같은 원인으로 곡선반경에 대한 정지선 후퇴 방법론을 고려할 필요성이 없게 된다.

본 연구에서는 횡단보도가 설치되어 있는 지점일 경우 교차로 통과 거리가 길어지게 되어 딜레마존과 곡선반경을 제외한 인지반응과 시거, U-turn 최소화전반경을 이용하여 버스정지선 적정후퇴거리를 산정하며, 교차로 폭이 딜레마존을 적용하기 위한 최대 교차로 폭인 32.3m보다 크지 않고, 횡단보도가 미설치된 지점에 대해 딜레마존과 곡선반경의 방법론을 적용하며, U-turn 최소화전반경과 나머지 설계요소값을 만족하는 중앙버스전용차로 정지선 후퇴거리를 분석하게 된다.



[그림 3-2] 중앙버스전용차로 정지선후퇴 알고리즘

## 2. 인지 · 반응시간과 시거

### 1) 인지 · 반응시간

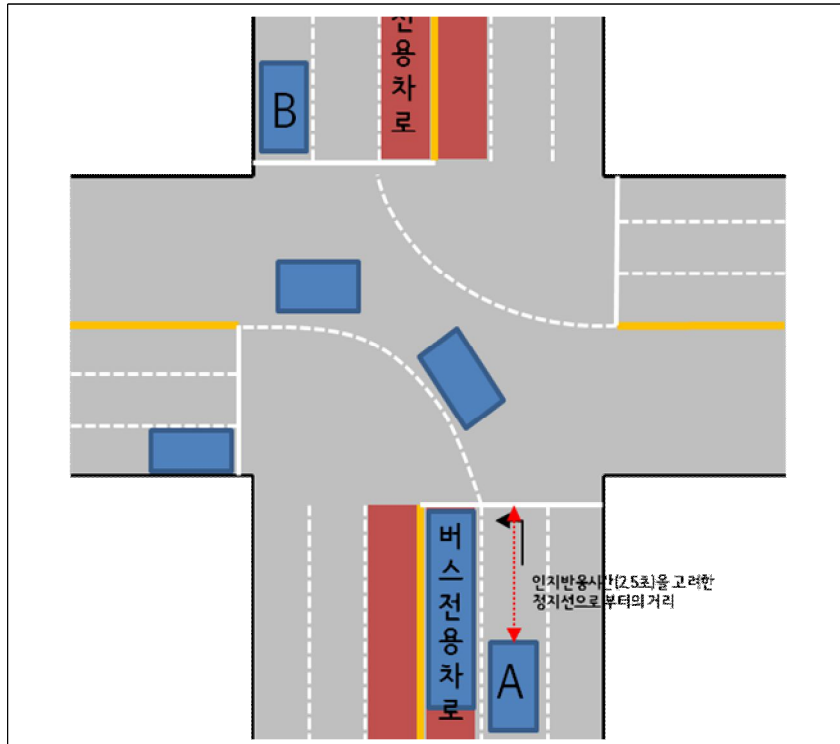
인지 · 반응시간이란 도로상의 위험요소나 황색신호를 보고 진행방향에 대하여 정지하는데 걸리는 시간을 의미하며, 다양한 조건(장애물과의 거리, 운전자의 시야, 운전자 주행특성, 도로형태 등)에 의해 영향을 받는다.

인지·반응시간은 지각, 식별, 행동판단, 반응<sup>5)</sup>의 과정으로 구분할 수 있으며, 이때 소요되는 시간을 PIEV 시간이라고 한다. 신호교차로 상에서는 일반적으로 PIEV 시간을 1초, 비신호 교차로에서는 PIEV 시간을 2초 적용하는 것을 권장하고 있으나 앞서 기준 문헌과의 차별성에서 언급하였듯이 버스전용차로와 회전차로의 버스와 승용차간의 대형사고의 위험적 측면을 고려하여 안전한 정지시거 위한 AASHTO에서 제시한 2.5초를 반영하였다.

인지 · 반응시간을 고려하여 중앙버스 전용차로 후퇴길이를 산정할 수 있으며, 정지선의 위치는 차선 폭, 교차로 길이 등을 고려하여 산정될 수 있다.

---

5) 도철웅, 교통공학원론, 청문각, 2009, p41



[그림 3-3] 중양버스정지선후퇴 개념도(인지반응시간)

## 2) 시거

중양 버스전용차로제가 운영되고 있는 교차로 상에서 1차로에 버스가 정지하며, U-turn 차로의 차량은 2차로에 정지하여 버스전용차로에 정지하고 있는 버스의 영향으로 인해 시야가 충분히 확보되지 않는다.

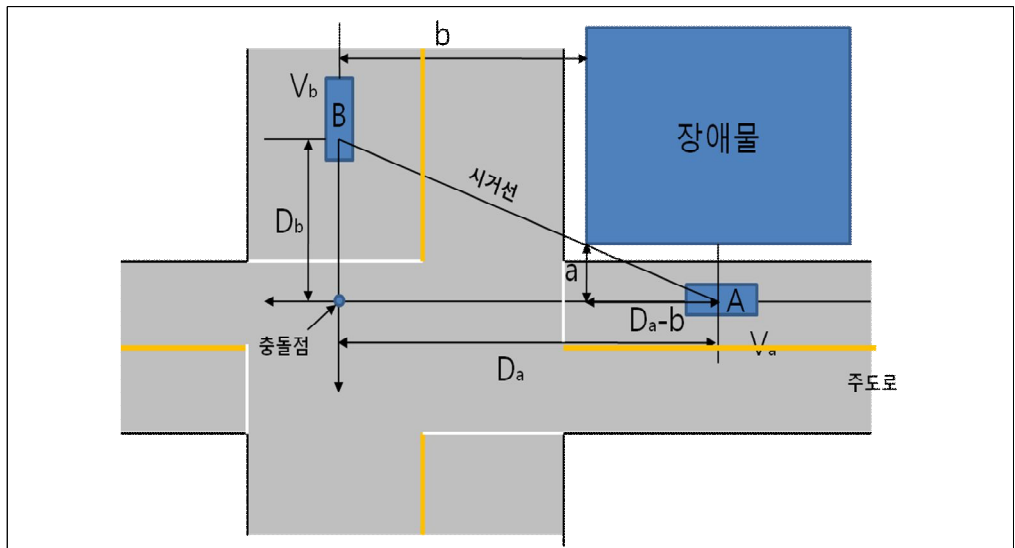
U-turn 차로의 차량은 좌회전 신호 시 대향 부도로에 직진하고 있는 차량을 쉽게 인식할 수 없으며, 이로 인해 사고 위험이 높다. 이러한 이유로 교차로 상에서 회전차량의 사고방지를 위해 시거확보는 매우 중요하며, 동시에 직진차량의 교차로 진입 시 타 차량과의 충돌 방지를 위해 충분한 시거 확보가 필요하다.

시거확보를 위해 교통공학원론에서 제시한 시거 삼각형을 적용하였으며, 중양버스전용차선의 적정 거리를 산정하기 위한 식은 다음과 같다.



$$\frac{D_b}{D_a} = \frac{a}{D_a - b} \quad \text{즉} \quad D_a - b = \frac{a \times D_a}{D_b} \quad [\text{식 1}]^6)$$

여기서  $D_a$  : 주도로 차량(A)과 충돌점 사이의 거리,  $D_b$  : 부도로 차량(B)과 충돌점 사이의 거리,  $a$ :주도로 차량(A)과 장애물간 거리,  $b$  : 부도로 차량(B)과 장애물간 거리



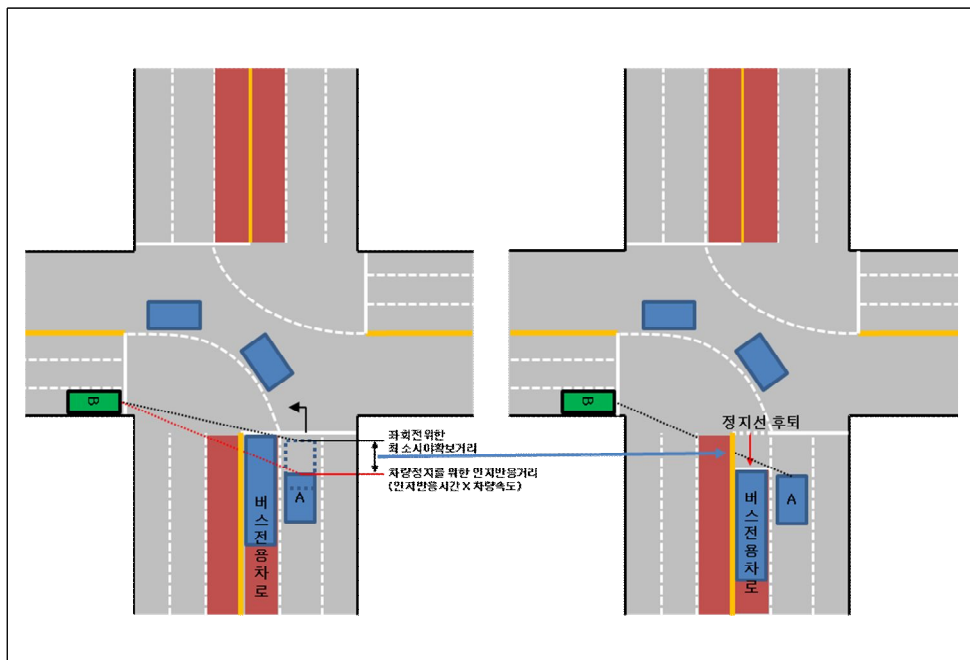
[그림 3-4] 중앙버스정지선후퇴 개념도(최소시거삼각형)

### 3) 인지 · 반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이 산정

인지·반응시간과 시거는 차량의 운행에 있어 필수적인 사항이며 이를 개별적으로 구분하여 분석하기보다는 두 설계요소를 모두 고려하여 분석한다.

6) 도철웅, 교통공학원론, 청문각, 2009, p360

중앙버스 전용차로의 정지선 후퇴길이는 인지·반응시간과 시거를 고려하고 이는 삼각비를 이용하여 산정할 수 있다. 우선 인지·반응시간(2.5초)를 적용하여 차량의 속도를 적용한 인지반응거리를 분석한 뒤 좌회전 및 U-turn 차량의 회전을 위한 시거를 분석한다. 다음으로 좌회전 및 U-turn 차량의 정지선으로부터의 위치와 시거를 고려하여 시거삼각비를 적용하여 버스정지선의 후퇴거리를 산정하게 된다.



[그림 3-5] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이 선정

### 3. 딜레마존

딜레마존이란 교차로 부근에서 접근중인 차량이 주행속도 때문에 물리적으로 교차로 정지선에 정지가 불가능하거나, 그대로 주행할 경우 교차로를 빠져나가지 못하는 지역을 말한다.

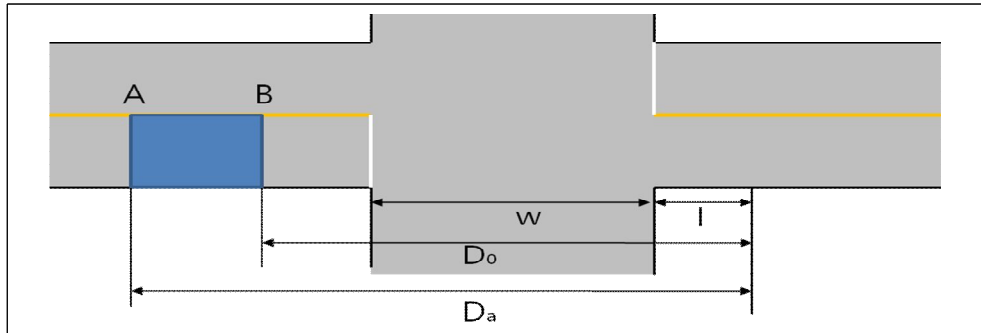
대부분의 도시부 교차로에서는 황색신호시간을 3초로 고정하여 운행하고 있어 딜레마존이 길며 이로 인해 꼬리물기나 신호위반 등이 발생하고 있어 주요 사고위험요인으로 작용하고 있다. 현재 대다수의 교차로상에 운영하고 있는 선직진 후좌회전 신호체계를 적용하여 딜레마존을 비교하였으며, 딜레마존 산정식은 다음과 같다.

딜레마존 길이(D) = (적정 황색시간 - 황색 신호시간) × 차량속도

$$Y = T_b + V/(2d) + (W+L)/V - T_s \quad [\text{식 3}]$$

여기서, Y = 황색신호시간(초),  $T_b$  = 정지인지반응 시간(1.0 sec), V = 접근속도 (m/sec), d = 정지감속도( $5.0\text{m/sec}^2$ ), W = 교차로 횡단거리 (m), L = 차량길이(m),  $T_s$  = 출발인지반응 및 여유시간(1.5sec)

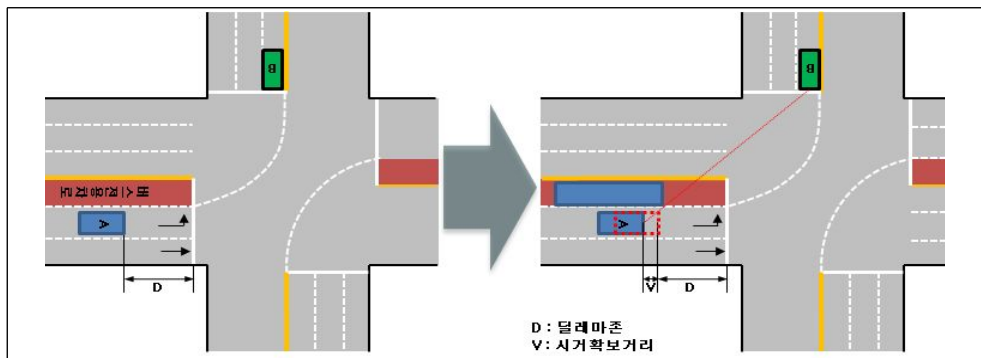
A:딜레마구간 시작점, B:딜레마구간 끝점, 딜레마구간 길이 =  $D_0 - D_a$  [식 4]



[그림 3-6] 중앙버스정지선후퇴 개념도(딜레마존)

아래의 그림은 딜레마존에 대한 방법론이며, 좌회전 및 U-turn차로의 딜레마존을 산정 후 부도로상의 맨 우측 직진 차로에 대한 진행여부를 파악하기 위한 시야확보거리를 추가로 고려하여 중앙버스 전용차로 정지선 후퇴거리를 선정한다.

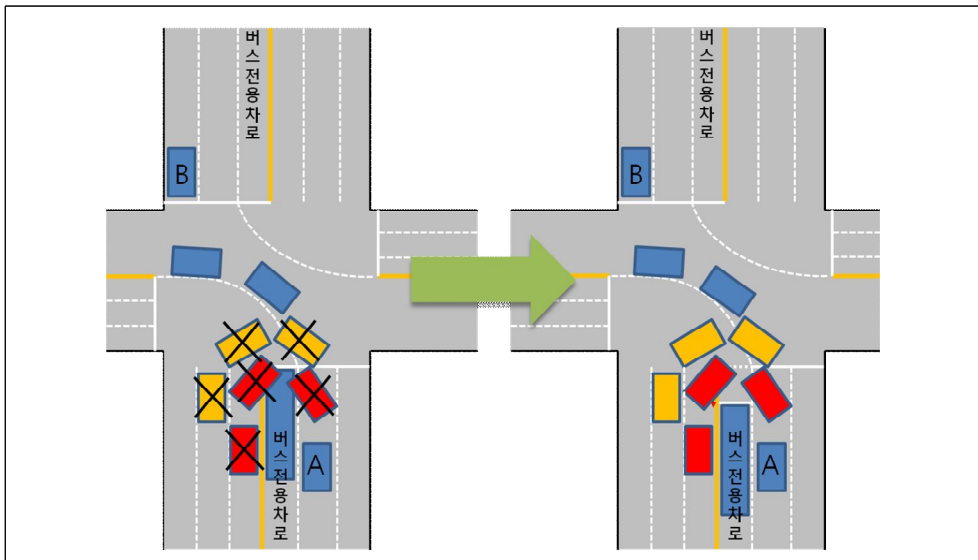
여기서 좌회전 및 U-turn 차로의 차량이 부도로의 맨 우측차로 차량을 확인하기 위한 시야확보거리를 산정하는 이유는 선직진 후행 좌회전 신호로 운영할 경우 주도로의 좌회전 신호 후 부도로의 직진신호이기 때문에 신호위반하거나 꼬리물기를 할 경우 부도로의 직진차량과 상충될 위험이 가장 크기 때문이다.



[그림 3-7] 딜레마존 길이 산정 방법론

#### 4. U-turn을 고려한 차량의 최소회전반경

현재 최소회전 반경에 대한 사항은 국토해양부의 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙”에서 제시하고 있으나, 이는 설계속도가 15km/h에서 측정한 것<sup>7)</sup>으로 일괄적으로 교차로 현장에 적용하는 것은 타당하지 않아 기하구조와 차량의 제원을 고려하여 본 연구에서는 U-turn 차량의 최소회전반경을 이용한 정지선 후퇴 방법론을 개발하였다.



[그림 3-8] 중앙버스전용차선내 U-turn 최소회전반경 개념도

U-turn 최소회전 반경을 고려하기 위해 설계기준 차량은 도시부 교차로 상에서 가장 많이 통행하고 있는 승용차를 대상으로 하였으며 U-turn을 고려하기 위해서 설계차량(승용차 및 트레일러)의 특성을 파악하여야 하며, 설계차량이 U-turn을 할 경우 최소회전반경을 적절히 고려해 주어야 한다.

7) 교차로 좌회전 궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구

[그림 3-9]는 U-turn차량의 정지선 후퇴거리를 산정하기 위한 최소 회전반경 방법론이며 분석과정은 다음과 같다.

차량이 정지선을 지나 회전함으로 인한 전향각( $\theta$ )을 분석한다. 본 연구에서는 차량의 최소회전반경을 고려하기 위해 좌측 뒷바퀴가 정지선에 맞닿았을 경우로 가정하여 전향각( $\theta$ )을 분석하였다.

$$\overline{ab} + \overline{bc} = 1.7 \cos \theta + 4.7 \sin \theta = LL_l \quad [\text{식 4}]$$

여기서  $LL_l$  : 좌회전 차로 길이(Left Lane length)

전향각 분석 후 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서 제시하고 있는 승용차의 뒷내민길이(차의 후면으로부터 뒷바퀴 축의 중심까지 거리)인 1.2m를 적용하여 전방진행거리( $FP_d$ )를 산정하게 되며 아래의 식을 적용한다.

$$FPD = (CL - RPL) \times \cos \theta \quad [\text{식 5}]$$

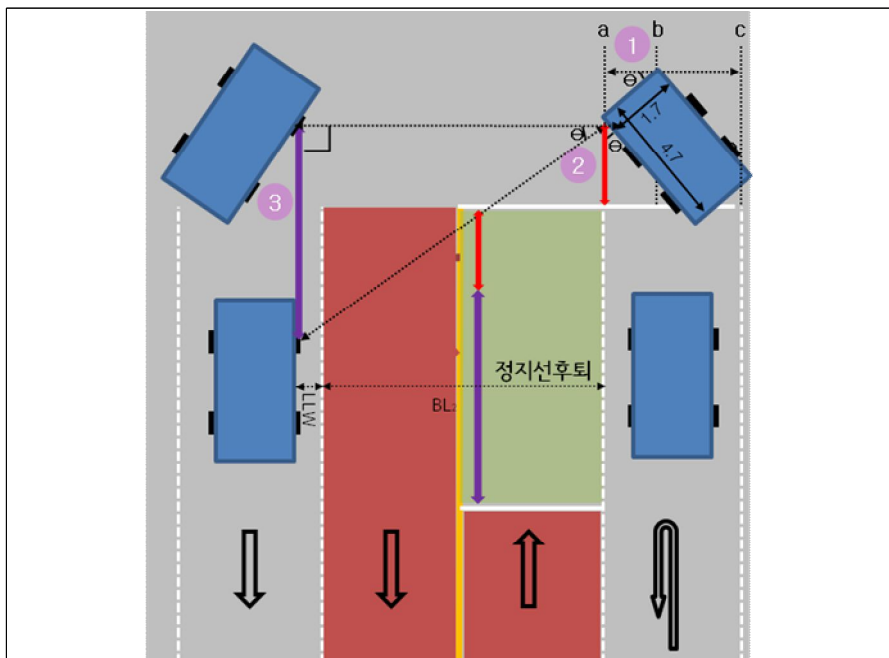
여기서  $FPD$  : 전방진행거리(Forward Progress distance),  $CL$ :차량길이(Car Length ,  $RPL$  : 뒷내민길이(Rear Process Length)

차량이 U-turn을 하여 반대차로로 진입하게 되어 직진궤적을 이루기까지 이동한 거리를 U-turn시 정지선 후퇴거리로 선정하였으며, 반대차로 진입하여 직진운행을 할때까지의 이동거리는 차량이 초기에 회전할 때 발생하는 전향각과 동일한 각을 이룬다고 가정하였다.

U-turn차량은 버스전용차로(양방향)을 지나게 되며, 회전이 완료되어 직진 시 차량의 좌측 차선 여유폭을 고려하여 식을 정의하였다. 차량이 반대편차로에 진입하여 직진으로 운행하게 될 때까지의 수직이동거리와 전방진행거리를 합산하여 정지선 후퇴길이 산정 방법론을 정의하였으며 최종 U-turn차량의 최소회전반경을 위한 산정식은 [식 6]과 같다.

$$SLB = \{(LLW + BL_2) \times \tan \theta\} + FPD \quad [\text{식 } 6]$$

여기서  $SLB$  : 정지선 후퇴길이(Stop Line Backward),  $LLW$  : 차로 내 차량점유폭을 제외한 나머지 여유폭(Lane Left Width),  $BL_2$  : 중앙버스전용차로(Bus Lane)



[그림 3-9] U-turn을 고려한 차량의 최소회전반경 방법론

## 5. 곡선반경

AASHTO에서 제시한 설계기준차량별 곡선반경의 설치(승용차 : 12m, 트럭 : 15m, 세미트레일러 : 23m)를 도시부 교차로에 적용 시 차량의 시거확보 및 방향 전환 등의 급격한 회전으로 인해 사고발생위험이 높다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 교차로상의 설계차량인 승용차를 기준으로 하여 곡선반경이 확보될 수 있도록 교차로 유형별로 차로별 정지선 후퇴거리를 산정하였다.

여기서 고려하여야 할 사항으로는 본 연구에서는 차량의 궤적이 원곡선을 이룬다는 가정하에 정지선 후퇴거리를 선정하였으나, 실제 운행에 있어서는 완화곡선을 이룬다는 점이다. 하지만 완화곡선에 대한 분석은 실제 도로상에서 많은 어려움이 있어 본 연구에는 차량이 원곡선을 이룬다는 가정으로 적용하였으며, AASHTO에서나 기존 연구에서도 본 연구와 같이 차량궤적에 대하여 원곡선을 이룬다는 가정하에 분석하였다.

산정방법으로는 설계차량(승용차 기준)에 의해 곡선반경( $R_0$ )을 결정하고, 도로 폭(주도로와 부도로의 진출부)를 비교한다. 본 연구에서는 도시부 교차로 유형을 크게 3종류로 구분하였다. 우선 주도로와 부도로 구분에 있어 주도로는 버스전용차로가 실시되어 버스가 통행하고 있는 도로이며, 부도로는 그 외 일반 차량이 통행하고 있는 도로로 정의하였다. 도시부 교차로 유형으로는 ① 주도로 진입구간과 부도로 진출구간이 곡선반경보다 큰 경우, ② 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 중 하나만 곡선반경보다 큰 경우, ③ 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 모두 곡선반경보다 작은 경우로 구분하였다.



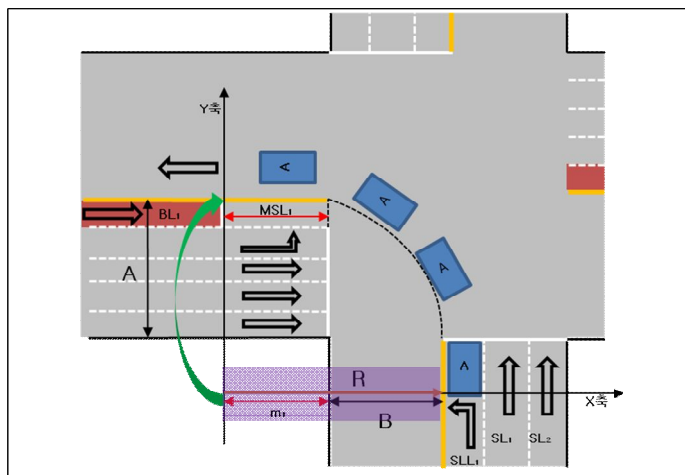
1) 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 모두 곡선반경보다 큰 경우

주도로 진입구간(A)과 부도로 진출구간(B)의 도로폭과 곡선반경( $R_0$ )을 비교하여 두 구간 모두 곡선반경( $R_0$ )보다 큰 경우 주도로 진입구간(A) 중 버스전용차로와 좌회전 및 U-turn차로의 정지선을 후퇴시키며 다음의 같은 식으로 정지선 후퇴가 산정된다.

첫 번째 차로인 중앙버스 전용차로의 정지선을 후퇴하며, [식 7] 과 같다

$$MSL_1 = R - B \quad [\text{식 } 7]$$

여기서 BL : 버스전용차선(Bus Line), MLL : 주도로 좌회전 전용차선 (Main Left Line), SLL : 부도로 좌회전 전용차선 (Sub Left Line), MSL : 주도로 정지차선(Main Stop Line), SSL : 부도로 정지차선(Sub Stop Line)



[그림 3-10] 진출입 모두 곡선반경보다 큰 경우 Case 1

주도로 진입구간의 두 번째 차로인  $MSL_2$ 를 후퇴하며, 설계기준차량인 승용차가 원곡선을 이룬다는 가정아래 원의 방정식( $x^2 + y^2 = R^2$ )을 적용하였다.

두 번째 차로가 U-turn을 단독으로 운영할 경우 버스전용차로와 U-turn만 후퇴하게 되며, 좌회전과 U-turn을 동일차로에서 운영할 경우 역시 버스전용차로와 좌회전과 U-turn을 동일차로가 후퇴하게 된다.

$$m_1^2 + (R - BL_1)^2 = R^2$$

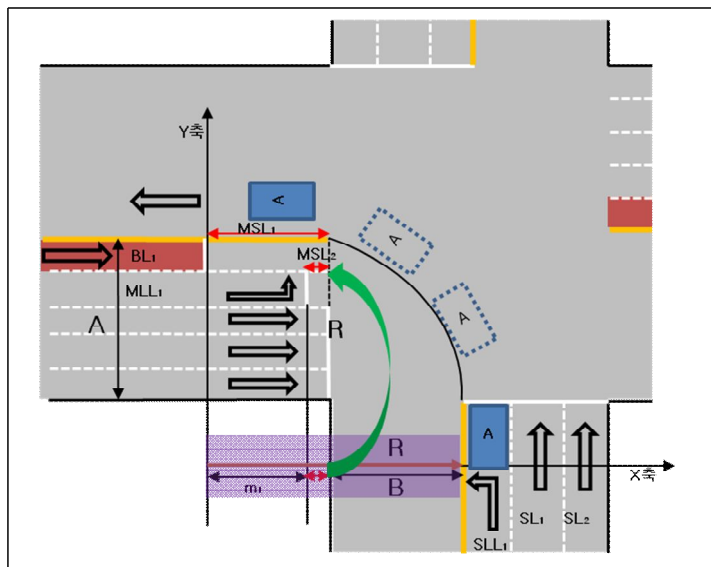
$$\therefore m_1 = \sqrt{2R \cdot BL_1 - (BL_1)^2}$$

$m_1$ 값 정리

$$MSL_2 = R - B - m_1$$

$$= R - B - \sqrt{2RBL_1 - (BL_1)^2}$$

[식 8]



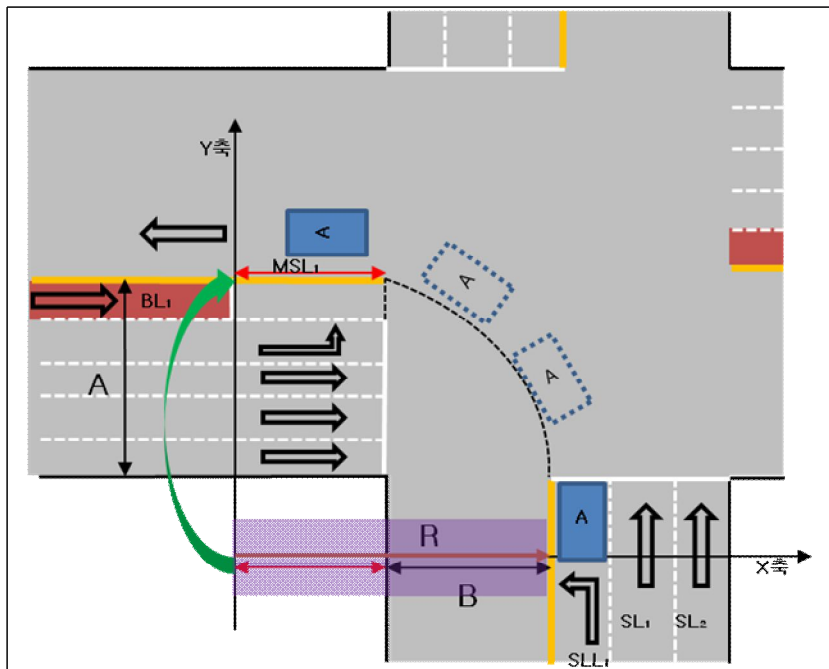
[그림 3-11] 진출입 모두 곡선반경보다 큰 경우 Case 2

2) 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 중 하나만 곡선반  
정보다 큰 경우

A]  $R_0$ ,  $B[R_0$  또는  $B[R_0, A]$   $R_0$  인 경우 중앙버스전용차로만 정지선을 후퇴하게 되며,  $MSL_1$ 의 길이는 곡선반경의 끝점이 차량정지선 앞쪽에서 끝날 경우 차량정지선으로부터 곡선반경 끝점까지의 거리를 나타낸다.

[식 9] 와 같이 정지선 후퇴길이가 산정된다.

$$MSL_1 = R - B \quad \text{[식 9]}$$



[그림 3-12] 진출입 중 하나만 곡선반경보다 큰 경우(한쪽만 후퇴)

### 3) 주도로 진입구간과 부도로 진출구간 모두 곡선반경보다 작은 경우

곡선반경보다 주도로 진출부(A)과 부도로 진입부(B)의 도로폭이 커서 곡선반경이 충분히 확보되므로 정지선을 후퇴할 필요가 없이 기존 교차로 상에서도 충분히 운영이 가능하다.

이상의 버스전용차선 정지선 후퇴길이 산정을 위한 설계요소인 인지 반응시간과 시거, 딜레마존 길이, 곡선반경, U-turn을 고려한 차량의 최소회전반경에 대한 방법론을 정의하였다. 본 연구에서는 교차로 기하구조적 측면에 있어 모든 설계요소를 고려할 수 없으며, 교차로 폭이나 횡단보도 설치유무에 따라 적용 가능한 설계요소를 구분하였다.

## IV. 방법론 적용

### 1. 방법론 적용 대상 선정

우선 현장적용에 앞서 방법론을 적용하기 위해 적색신호로 인해 차량이 정지하는 경우 정지선과 일치하게 정지하여 있으며, 모든 차량은 차로에 정지 시 차로의 중심에 위치한다는 것을 가정하여 현장 적용 분석을 수행하였다.

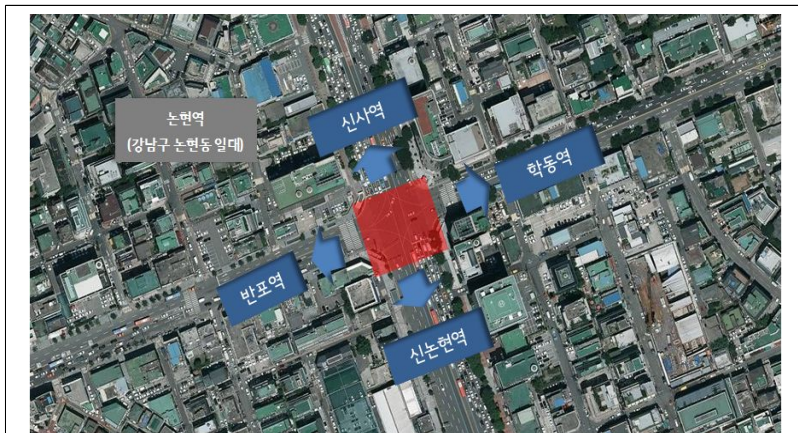
본 연구에서는 중앙버스전용차로의 특성을 고려하여 서울시에서 시행되고 있는 중앙버스전용차로 적용 교차로 중 고속버스터미널, 강남역, 논현역, 뱅뱅사거리 교차로를 대상으로 분석하였다.

중앙버스 전용차로를 실시하고 있는 교차로로써 교차로 폭이 기준(32.3m)값을 만족하여 딜레마존의 방법론이 적용가능하며, 횡단보도가 설치되어 있지 않아 곡선반경에 대한 방법론이 적용 가능한 고속터미널과 강남역을 대상으로 하였다. 고속터미널과 강남역을 대상으로 한 이유는 두 지점에 대해 각각 교차로 기하구조나 차량의 통행속도 등이 다르기 때문에 이로 인해 중앙버스전용차로의 정지선 후퇴거리가 차이가 발생하기 때문에 이 두 지점에 대하여 어떠한 원인에 의해 차이가 발생하게 되는지 비교하기 위해서이다.



[그림 4-1] 정지선 후퇴 방법론 적용지역(고속터미널, 강남역)

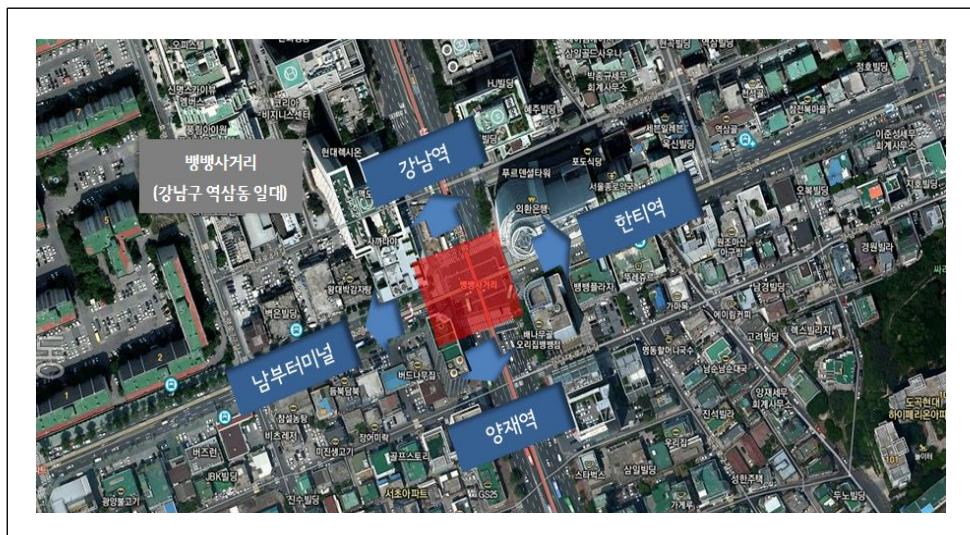
다음으로 교차로 폭이 딜레마존을 적용하기 위한 최대 교차로 폭인 32.3m 이상인 노현역을 대상으로 선정하였다. 노현역은 교차로 폭이 상대적으로 크나 횡단보도가 크기 때문에 딜레마존에 대한 방법론이 적용되지 않게 된다. 곡선반경에 대하여는 주도로의 진입부나 부도로의 진출부가 곡선반경보다 크기를 비교하여 적용여부를 판단하게 되며, 인지반응시간과 시거를 적용한 정지선 후퇴길이와 U-turn 차량의 최소회전반경에 대한 방법론을 적용하게 된다.



[그림 4-2] 정지선 후퇴 방법론 적용지역(노현역)

마지막으로 뱅뱅사거리는 딜레마존의 최대 허용 교차로 폭(32.3m)이 횡단보도 로 인해 설계기준보다 거리가 더 길게 조사된 곳으로 이에 교차로별 정지선 후퇴요소 중 일부 방법론을 제외(딜레마존, 곡선반경)하고 정지선 후퇴거리를 분석하였다.

뱅뱅사거리는 앞서 제시한 횡단보도 설치로 인해 회전차량의 주행공간이 충분히 확보되어 곡선반경에 대한 방법론을 제외하게 되며, 또한 딜레마존을 이용한 방법론 역시 최대 허용 교차로 폭 이상으로 길기 때문에 제외한다. 그래서 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이, U-turn 차량의 최소회전반경을 이용한 정지선 후퇴길이에 대한 방법론을 적용하게 된다.



[그림 4-3] 정지선 후퇴 방법론 적용지역 (뱅뱅사거리)

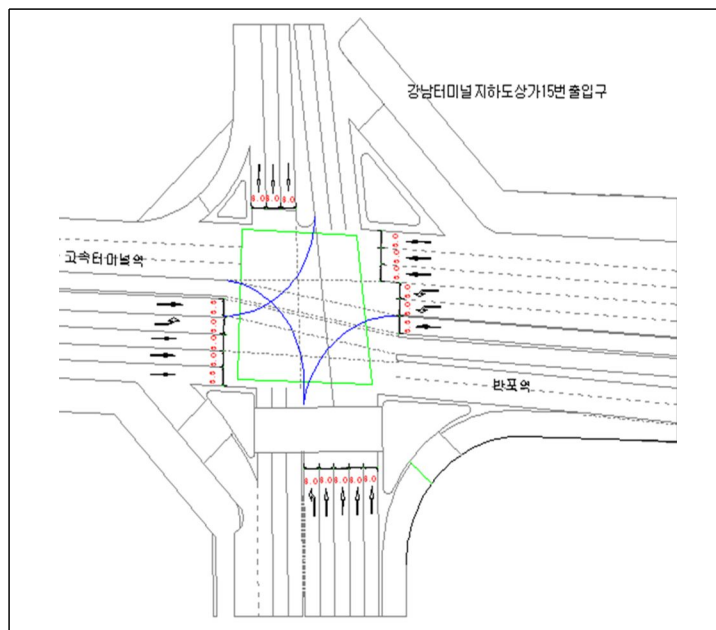
고속터미널 교차로는 버스 전용차로(주방향으로 기준)상에 횡단보도가 설치되어 있지 않으며, 좌회전 차로가 1차로(고속터미널역→반포역), 2차로(반포역→고속터미널역)로 운영되고 있다.



[표 4-1] 고속터미널 사거리 차로수 현황

방향	버스전용	직진	좌회전	합계
반포역	1	3	1	5
고속터미널역	1	3	2	6
하향(부도로)	-	3	-	3
상향(부도로)	-	4	1	5

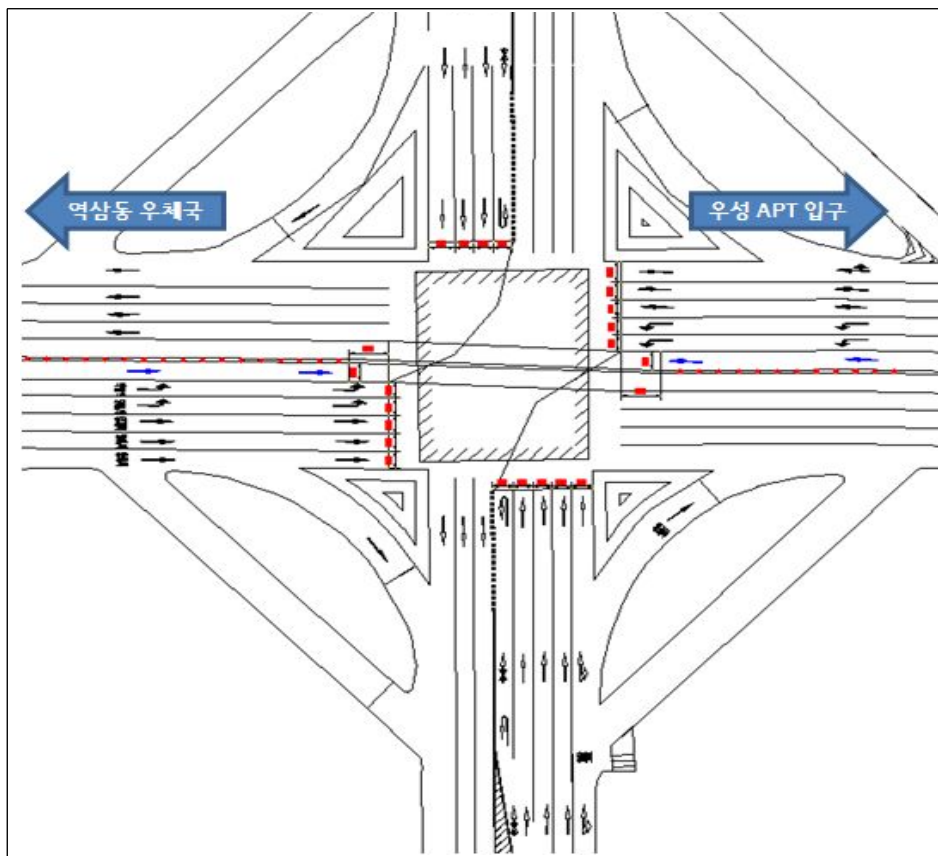
주도로의 각 차로폭은 중앙버스 전용차로가 양방향 모두 3.3m이며, 일반차로(좌회전 차로 및 직진차로)는 모두 3.0m로 조사되었다. 부도로의 상향, 하향 모두 차로폭이 3.0m이며 상향에만 좌회전 1차로가 운영되고 있다.



[그림 4-4] 고속터미널 사거리 기하구조



강남역은 현재 버스전용차로의 정지선이 양방향 모두 교차로 정지선으로부터 6m로 일괄적으로 후퇴되어 있다. 이는 본 논문에서 고려되고 있는 U-turn 차량의 최소회전반경에 적용 가능여부를 비교 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 부도로상에서 현재 맨 좌측 차로에 U-turn만 운영하고(좌회전 금지)있어 곡선반경을 산정에 있어 어려움이 있다. 이에 부도로 맨 좌측 차로에서 좌회전과 U-turn이 동시에 운영되는 것을 가정하여 곡산반경을 산정하였다.

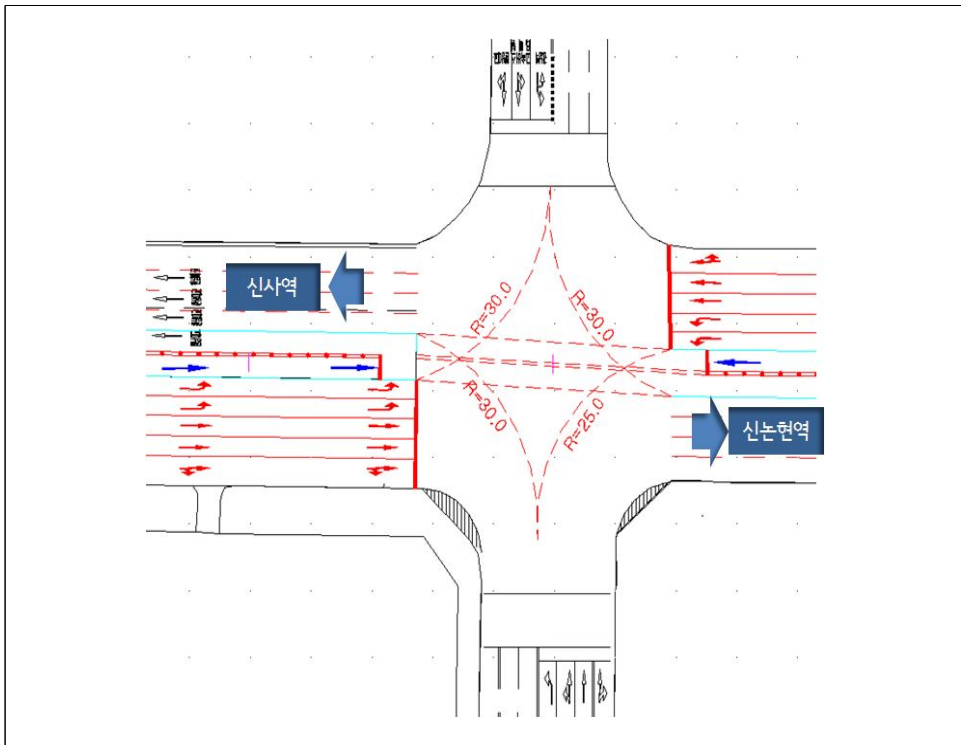


[그림 4-5] 강남역 사거리 기하구조

[표 4-2] 강남역 차로수 현황

방향	버스전용	직진	좌회전	U-turn	합계
우성APT입구	1	3	2	-	6
역삼동 우체국	1	3	2	-	6
하향(부도로)	-	3	-	1	4
상향(부도로)	-	3	-	1	4

논현역은 버스전용차로 기준으로 우측 2차로에 좌회전 차로를 설치하여 좌회전 차량의 소통을 원활하게 하고 있으나, 부도로의 진입구는 3차로로 차량이 부도로에 집중될 경우 극심한 혼잡을 발생시킬 수 있다.



[그림 4-6] 논현역 사거리 기하구조

부도로 상에서는 상향, 하향 모두 좌회전 동시 선직진 후행좌회전 신호를 운영하고 있으며, 좌회전 모두 2차로가 운영되고 있다.

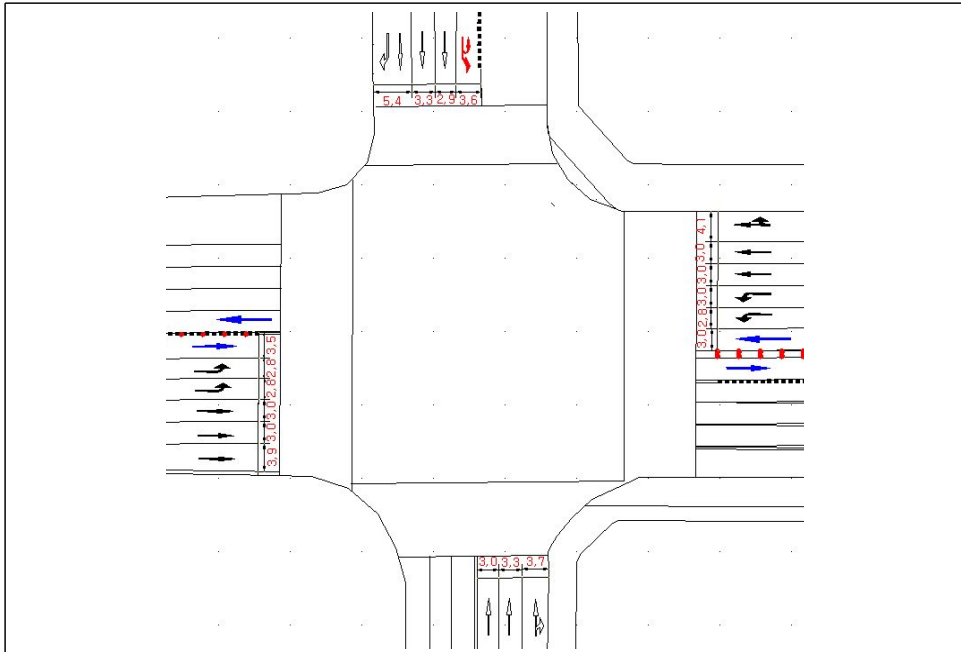
[표 4-3] 논현역 차로수 현황

방향	버스전용	직진	좌회전	합계
신논현역	1	3	2	6
신사역	1	3	2	6
하향(부도로)	-	2 (직진 및 좌회전:1)	1	3
상향(부도로)	-	3 (직진 및 좌회전:1)	1	4

뱅뱅사거리는 버스전용차로 구간 양방향 모두 6개 차로를 운영하고 있으며, 직진 3차로, 좌회전 2차로, 버스전용차로 1차로로 동일하게 구성되어 있다. 또한 부도로는 직진 모두 2차로이나, 상향은 좌회전을 적용하고 있지 않으며, 하향 차로에서만 좌회전(동시 선직진 후행좌회전)이 운영되고 있다.

[표 4-4] 뱅뱅사거리 차로수 현황

방향	버스전용	직진	좌회전	합계
양재역	1	3	2	6
우성APT	1	3	2	6
하향(부도로)	-	3	-	3
상향(부도로)	-	3	1 (동시 직좌)	4



[그림 4-7] 뱅뱅사거리 기하구조

## 2. 인지 · 반응시간과 시거를 고려한 중앙버스정지선 후퇴길이

주도로 좌회전 차량의 인지반응거리를 분석하기 위해 서울특별시 도로교통정보에서 제공한 2011년 9월 27일 도로/시간대별 속도자료를 참고하였으며, 인지반응시간은 앞서 방법론에서 언급하였듯이 AAHTO에서 제시한 2.5초를 적용하였다.

2011년 9월 27일 전 시간대 속도자료 중 통행량이 상대적으로 적어 통행속도가 빠른 20~07시 사이의 속도를 제외한 나머지(07~20시)시간대 평균통행속도를 기준으로 하였으며, 각 교차로별 평균 속도와 인지반응시간을 적용하여 인지반응거리를 분석하였다.

[표 4-5] 교차로별 통행속도 현황(2011.09.27)

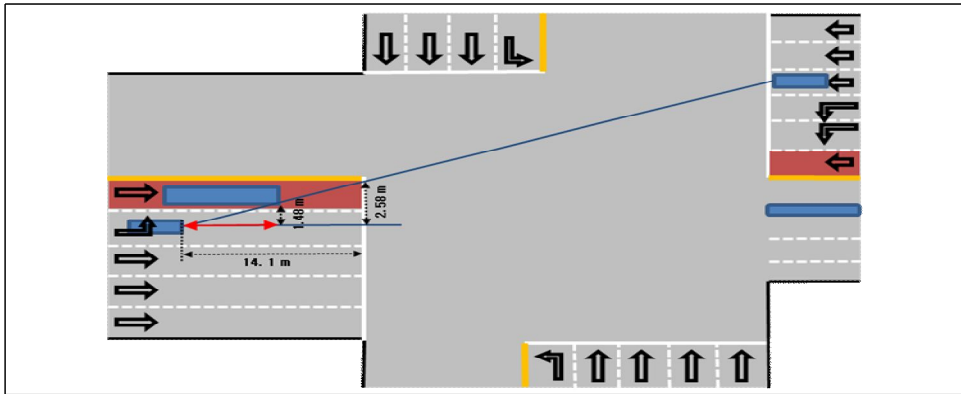
단위 : km/h

구분	시작노드	끝노드	평균속도(07~20)
고속터미널	고속터미널역	고속터미널	20.3
강남역	서초우성아파트	강남역	17.6
논현역	신사역	논현역	15.6
뱅뱅사거리	서초우성아파트	뱅뱅사거리	23.8

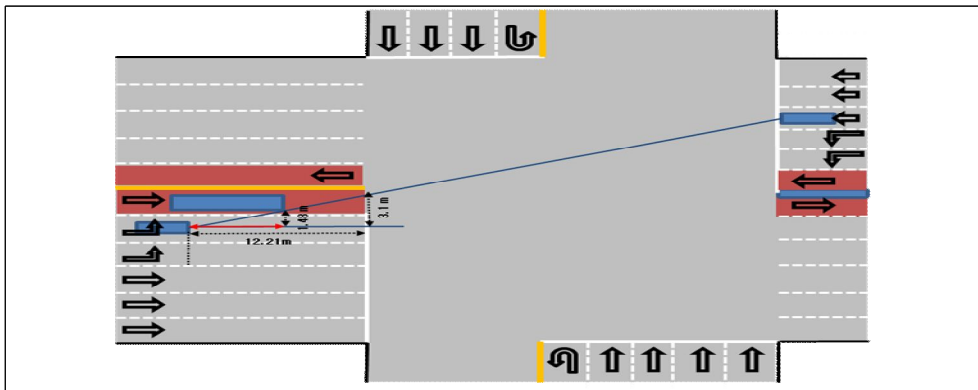
교차로 통행속도자료와 인지반응시간을 고려하여 인지반응거리를 분석한 결과 약 12~16m 사이로 분석되었으며, 인지반응거리와 차량 간 거리, 정지선 수직거리를 분석하여 삼각비를 적용한 후 정지선 후퇴거리를 산정하게 된다. 여기서 정지선 수직거리는 차량의 정지선으로부터 인지반응거리까지의 직진거리와 부도로 직진차량을 확인할 수 있는 시거사이로 인한 좌회전 차량의 정지선으로부터 수직 이동거리를 의미한다.

또한 차량 간 거리는 버스 차로 폭(3.5m)과 좌회전 차로 폭(2.8m)에 따른 각각의 차폭(버스 : 2.5m, 승용차 : 1.7m)은 차로 중심에 위치하는 것을 가정으로 하였으며, 차량사이의 측면간격과 U-turn차량의 운전자 위치(승용차 기준 1/4위치)에 있는 것을 가정으로 하여 버스와 승용차간 거리를 분석하였다.

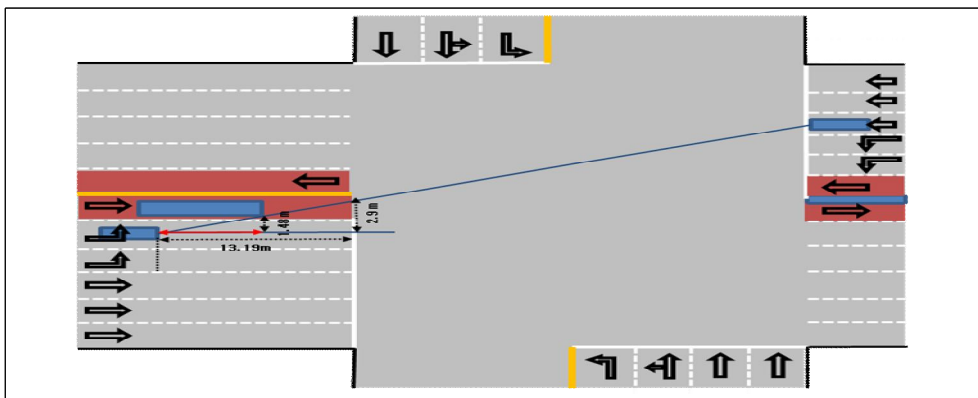
인지반응시간과 시거를 적용하여 정지선 후퇴거리를 산정한 결과 6~6.5m사이에 분포하였으며, 인지반응거리와 정지선 수직거리가 정지선 후퇴거리에 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이중 고속터미널과 강남역은 교차로 구조가 동일하나 통행속도의 차이로 인해 인지반응시간과 정지선 수직거리가 차이가 발생하였으며, 이로 인해 정지선 후퇴거리 차이가 발생하였다.



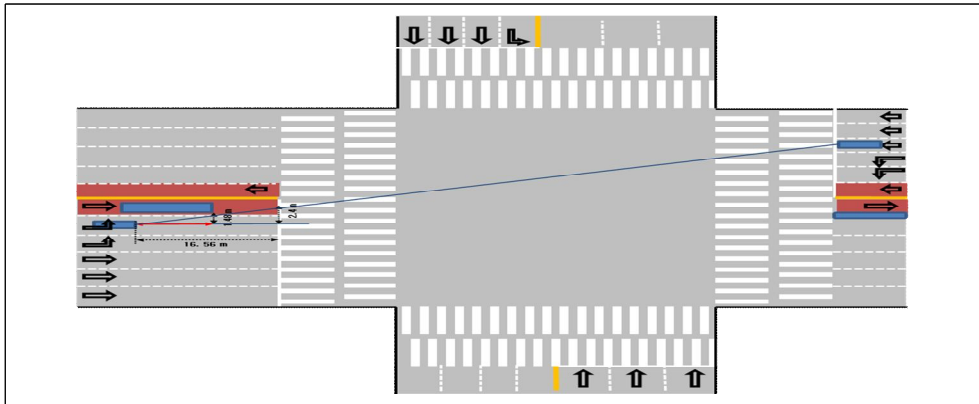
[그림 4-8] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(고속터미널)



[그림 4-9] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(강남역)



[그림 4-10] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(논현역)



[그림 4-11] 인지반응시간과 시거를 고려한 정지선 후퇴길이(뱅크사거리)

[표 4-6] 인지반응시간과 시거를 적용한 정지선 후퇴거리 산정

구분	정지선수직거리	인지반응거리	차량간거리	정지선 후퇴거리
고속터미널	2.58	14.1	1.48	6.01
강남역	3.1	12.2	1.48	6.38
논현역	2.9	13.2	1.48	6.46
뱅크사거리	2.4	16.5	1.48	6.34

### 3. 딜레마존을 고려한 중앙버스정지선 후퇴길이

방법론에서 언급한 적정 황색시간을 고려하여 딜레마존을 적용하였으며, 여기서 딜레마존을 적용하는 차로는 주도로 U-turn차로(버스전용차로 우측차로 대상)를 대상으로 하여 딜레마존을 분석하였다.

딜레마존을 분석하기 위해 모든 교차로에 적용하는데 제약하기 위해서 앞서 제시한 교차로가 32.3m 이상이며, 서울시 평균 통행속도가

17km/h로써 정지선 후퇴거리 산정 시 18m 이상이 되는 교차로의 경우 딜레마존을 제외하게 된다.

아래 [표 4-7]에서는 적정 황색시간을 분석한 결과이며, 이중 논현역과 뱅뱅사거리는 통행속도가 각각 19km/h, 21.6km/h로써 서울시 평균 통행속도 평균이상이며, 또한 교차로 폭이 41.5m, 58m로 적정 황색시간이 7.8초, 9.6초가 발생하게 된다.

[표 4-7] 딜레마존 산정을 위한 입력자료

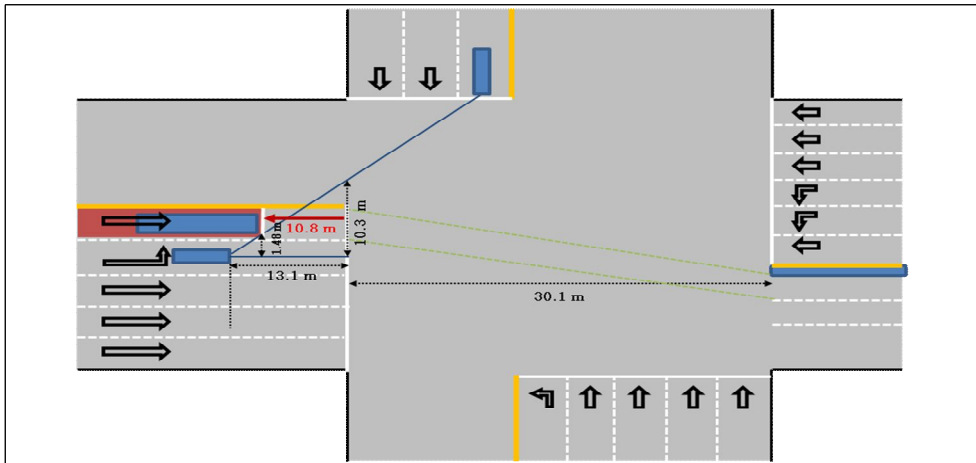
구분	고속버스 터미널	강남역	논현역	뱅뱅 사거리
정지인지반응 시간(sec)	1.0	1.0	1.0	1.0
접근속도(m/sec)	5.6	4.9	6.0	6.6
정지감속도(m/ sec <sup>2</sup> )	5.0	5.0	5.0	5.0
교차로 횡단거리(m)	30.1	26.4	41.5	58
차량길이(m)	4.7	4.7	4.7	4.7
출발인지반응 및 여유시간(sec)	2.5	2.5	2.5	2.5
적정 황색시간(sec)	5.2	5.4	7.8	9.6

현재 교차로 신호시간 운영 시 황색신호시간은 모든 교차로에 임의적으로 3초를 적용하고 있어, 적정 황색신호시간과 실제 황색신호시간의 차이로 인해 딜레마존이 발생하게 된다. 논현역과 뱅뱅사거리는 딜레마존 거리가 23.6m, 35.4m로 앞서 딜레마존을 적용하기 위해 제시한 정지선 후퇴길이에 대한 제한거리인 18m를 넘어 적용대상에서 제외하였다.

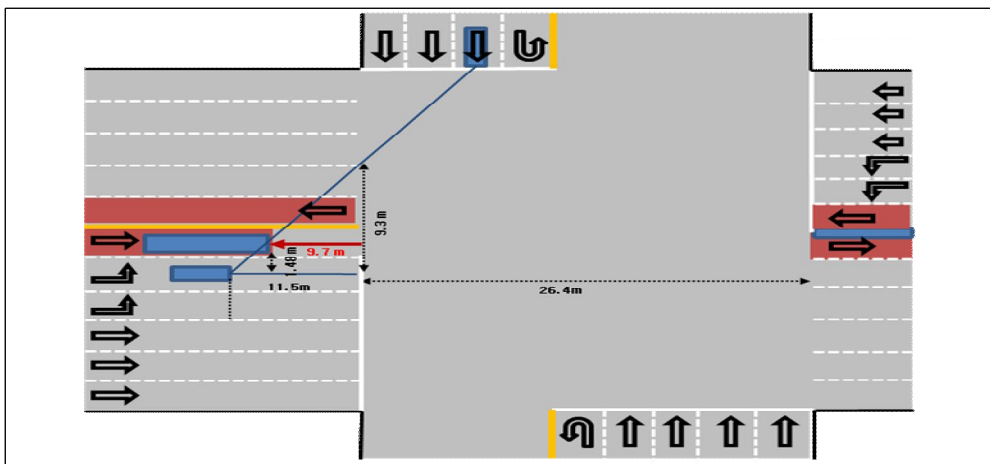


[표 4-8] 딜레마존을 고려한 교차로별 정지선 후퇴거리

구분	고속버스터미널	강남역
정지선 후퇴거리(m)	10.8	9.7



[그림 4-12] 딜레마존을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(고속버스터미널)



[그림 4-13] 딜레마존을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(강남역)

#### 4. U-turn 차량의 최소회전반경을 고려한 정지선 후퇴길이

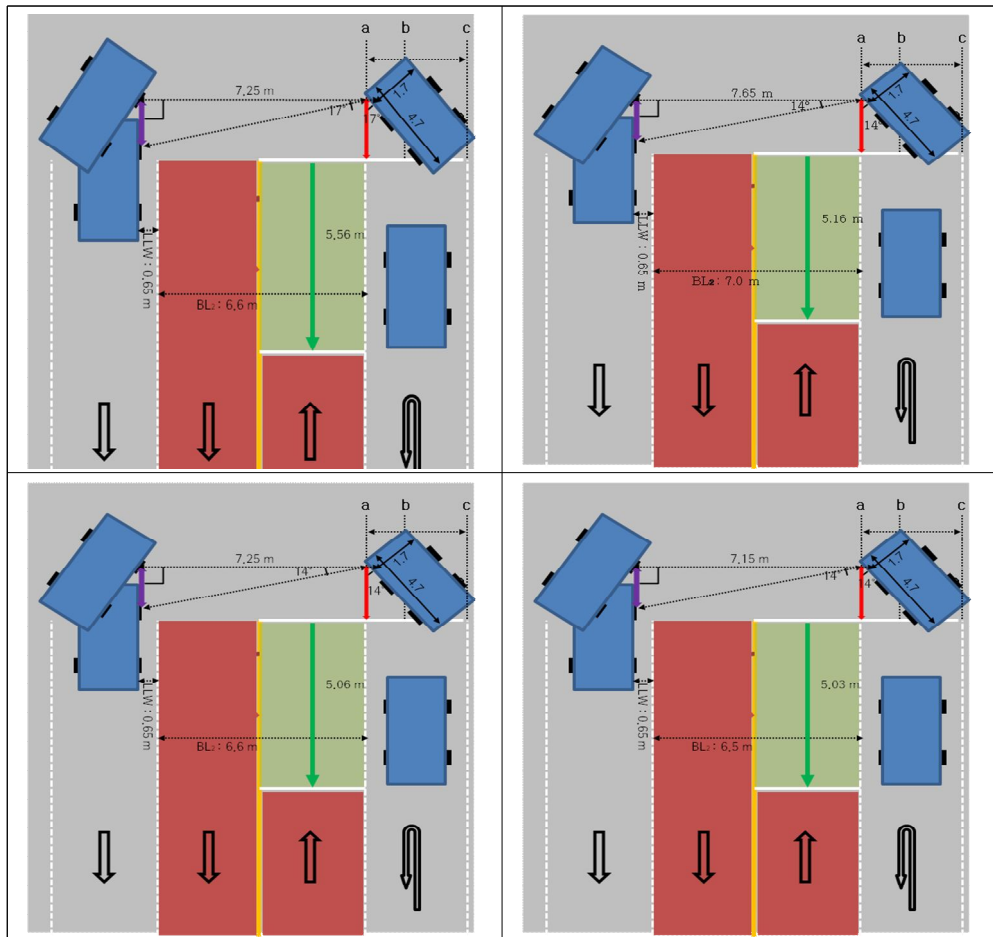
버스전용차로 운영구간 내 U-turn 차량의 최소회전반경에 대한 방법론을 적용해 본 결과, 첫 번째 단계인 전향각은 17°, 14.2°로 분석되었으며, 이는 차로 폭에 따라 전향각이 다르게 나타나게 된다. 전향각을 적용하여 전방진행거리( $FP_d$ )를 분석한 결과 약 3.35m와 3.39m 값이 산정되었다.

다음으로 반대차로에 진입하여 직진할 때까지의 이동거리는 앞서 방법론에서도 언급하였듯이 전향각과 동일한 각을 유지하여 이동한다는 전제하에 분석하였으며, U-turn 차량이 수평이동거리는 양방향 버스전용차로길리와 반대차로 진입 시 차로 내 차량 점유폭을 제외한 나머지 여유폭(한쪽 폭만 고려)을 고려하여 분석하였다.

전방진행거리( $FP_d$ )를 합하여 정지선 후퇴거리를 적용한 결과 고속버스터미널은 약 5.56m로 분석되었으며, 강남역 5.2m, 논현역 5.1m, 뱅뱅사거리 5m로 교차로별로 큰 차이가 나지 않았다. 또한 기존 문헌에 제시된 차량제원을 단순히 고려하여 적용한 값인 6.0m와 역시 큰 차이를 나타내지 않았다.

[표 4-9] U-turn을 고려한 교차로별 최소회전 반경

구분	고속버스터미널	강남역	논현역	뱅뱅사거리
차로길이(m)	3	2.8	2.8	2.8
전향각(°)	17	14.2	14.2	14.2
전방진행거리(m)	3.35	3.39	3.39	3.39
수평이동거리(m)	7.25	6.5	7	6.6
정지선 후퇴거리(m)	5.6	5.2	5.1	5.0



[그림 4-14] U-turn 차량의 최소회전반경(고속터미널)

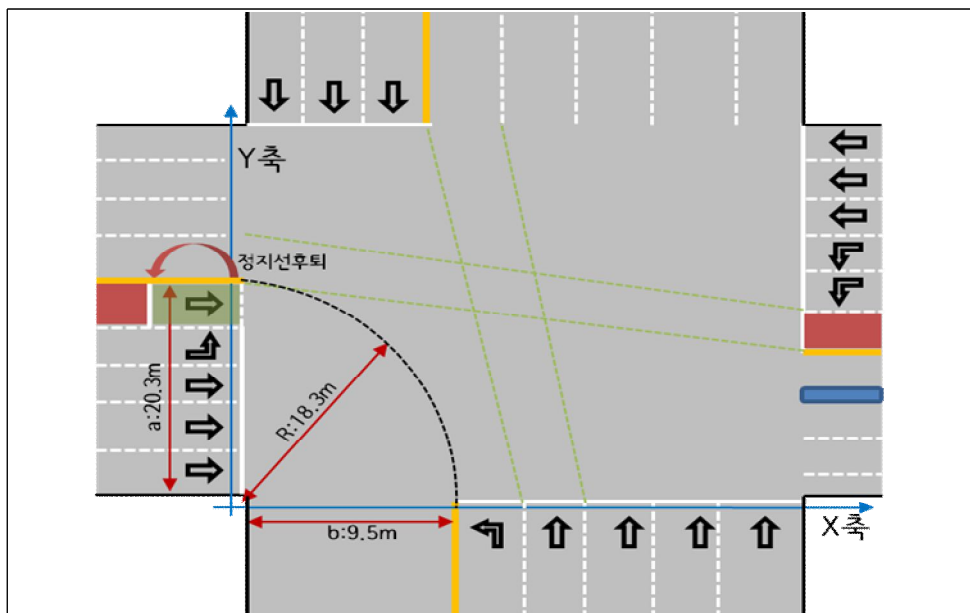
## 5. 곡선반경을 고려한 중앙버스전용차선 정지선 후퇴 길이

곡선반경을 고려한 중앙버스전용차선 후퇴길이를 산정하기 위해 교차로별 기하구조를 분석한 결과, 중앙버스 전용차선내 진출부 차로 길이 (A), 진입부 차로(B), 곡선반경을 고려한 반지름길이(R)는 [표 4-10]과 같다.

[표 4-10] 곡선반경을 고려한 교차로별 정지선 후퇴길이

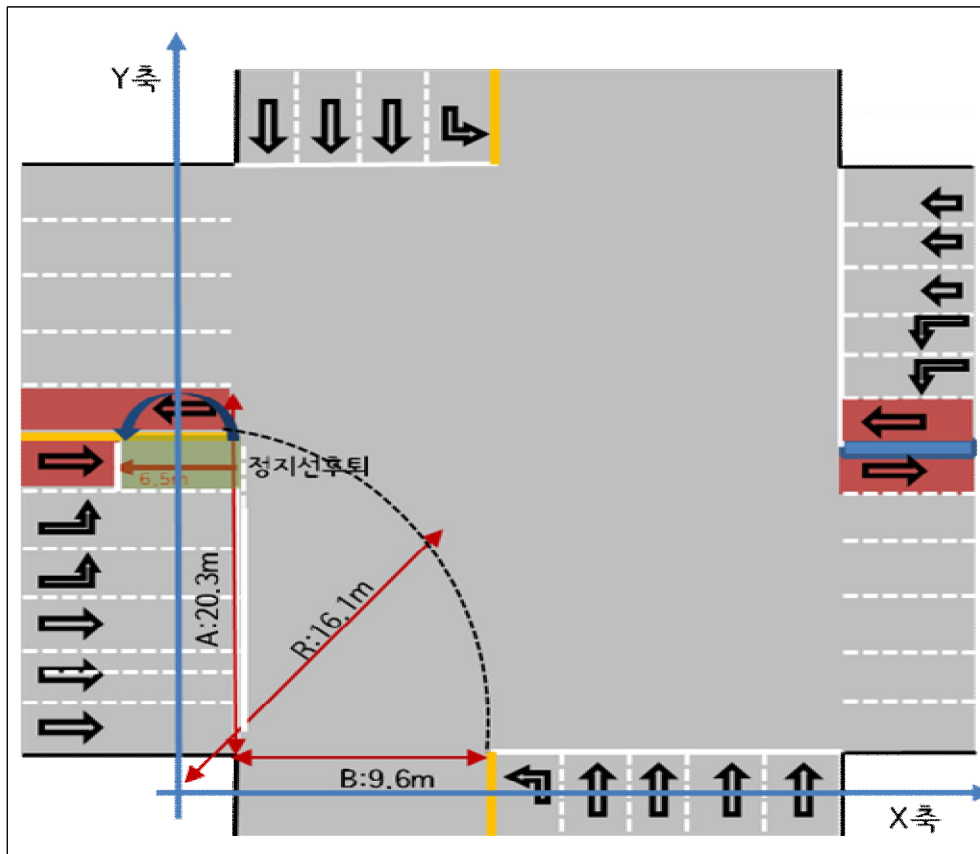
구분	고속버스터미널	강남역
주도로 진입(A)	20.3	21.7
부도로 진출(B)	9.5	9.6
곡선반경(R)	18.3	16.1
정지선 후퇴거리	8.8	6.5

고속버스터미널 교차로의 경우 곡선반경을 고려한 중앙버스정지선 후퇴 방법론 중 case 2인 진출부(A)와 진입부(B) 중 하나만 곡선반경( $R_0$ )보다 큰 경우를 적용하였으며, 이를 적용한 값은 반지름길이(R)에서 진입부 차로(B)를 뺀 8.8m가 정지선 후퇴거리가 된다.



[그림 4-15] 곡선반경을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(고속터미널)

강남역의 경우 역시 곡선반경 설계요소 중 case 2가 적용되며, 정지선 후퇴거리는 6.5m로 분석되었다.



[그림 4-16] 곡선반경을 고려한 정지선 후퇴 방법론 적용(강남역)

반면 논현역은 교차로 폭이 커서 곡선반경을 고려한 정지선 후퇴방법론 중 case 3인 진출부(A)와 진입부(B) 모두 곡선반경( $R_0$ )보다 큰 경우로써 곡선반경보다 도로 폭이 모두 커서 충분히 곡선반경이 확보되어 정지선을 후퇴할 필요가 없어 방법론이 적용되지 않는다.

이와 마찬가지로 뱅뱅사거리는 교차로 내 전 방향에 횡단보도가 설

치되어 기존 횡단보도 미설치된 교차로에 비해 20m 이상 정지선이 후퇴하게 되어 주도로 진입부, 부도로 진출부 모두 곡선반경보다 크게 되어 부도로 좌회전 차량이 회전 시 충분히 회전반경을 유지하여 이동가능하게 되어 정지선을 후퇴할 필요가 없게 된다.

## 6. 방법론 적용 결과

이상의 설계요소별 중앙버스 전용차로 정지선 후퇴거리 적용결과 [표 4-11]에 정리되었으며, 최소 정지선 후퇴거리의 기준인 U-turn 최소 회전반경에 따른 정지선 후퇴거리보다 모든 설계요소가 기준치 이상이였다.

하지만 노현역과 뽕뽕사거리의 경우, 교차로 폭이 기준치 이상이거나 횡단보도로 인해 교차로 폭이 커서 딜레마존과 곡선반경에 대한 방법론을 제외하게 되었으며, 이로 인해 노현역과 뽕뽕사거리는 인지반응시간과 시거, U-turn 최소회전반경을 적용하였다.

인지반응시간 · 시거를 적용한 정지선 후퇴거리는 U-turn 최소회전반경을 적용한 정지선 후퇴거리보다 길게 분석되어 정지선 후퇴거리로 인지반응시간과 시거를 적용한 정지선 후퇴거리가 최종 정지선 후퇴거리가 되었다.

반면 곡선반경과 딜레마존을 적용한 고속터미널과 강남역 사거리 경우 딜레마존에 따른 정지선 후퇴거리가 가장 큰 값을 나타내어 이를 최종 정지선 후퇴거리를 선정하게 된다. 이 두 교차로 중 접근속도(0.7m/s)와 교차로 폭(3.7m) 차이로 인해 딜레마존 거리에 따른 정지선 후퇴거리가 1.1m 차이가 발생하게 되었다.

이는 좌회전 및 U-turn 차량의 이동 중 부도로상의 운행 차량과의 시거를 충분히 고려하게 되어 사고율을 감소시킬 수 있으나 정지선 후퇴로 인해 신호시간을 조정하지 않을 경우 버스전용차로의 지정체를 유발

할 수 있을 것으로 판단된다.

[표 4-11] 설계요소별 중앙버스전용차로 정지선 후퇴거리 적용결과

단위 : m

설계요소	고속터미널	강남역	논현역	뱅뱅사거리
인지반응시간 · 시거	6.04	6.38	6.46	6.34
딜레마존	10.8	9.7	-	-
곡선반경	8.8	6.5	-	-
U-turn 최소회전반경	5.56	5.16	5.06	5.03
최종 정지선 후퇴 거리	10.8	9.7	6.46	6.34

## V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 중앙버스전용차로 설치 시 교차로 좌회전과 U-turn 차량에 대하여 모두 고려하여 버스정지선의 정지선 후퇴거리를 산정하였다. 또한 일부교차로에 일괄적으로 적용되고 있는 버스전용차선 정지선 후퇴거리에 대하여 교차로 특성별로 구분하여 정지선 후퇴거리를 산정하였다.

또한 교차로 특성별로 구분함에 있어 우선적으로 딜레마존을 적용하기 위한 딜레마존 최대 허용 거리를 18m로 적용하였으며, 통행속도 서울시 2010년 도시부 통행속도 17km/h와 교차로 폭 32.3m를 기준으로 기준치 이상의 교차로에 대하여는 딜레마존과 곡선반경에 대한 방법론이 적용하지 않고 인지반응시간과 시거, U-turn 차량의 최소회전반경에 대한 방법론을 적용하여 중앙버스전용차로의 정지선 후퇴거리를 분석하였다.

횡단보도가 주도로에 미설치되어 있고 딜레마존과 곡선반경이 적용 가능한 교차로 폭인 고속버스 터미널과 강남역 교차로를 대상으로 방법론을 적용한 결과, 각각 10.8m와 9.7m를 중앙버스전용차로 내 정지선을 후퇴하게 되었다. 또한 동일 기준(횡단보도 미설치 및 교차로 폭의 최대 허용기준치 이내인 교차로)내 이렇게 정지선 후퇴거리의 차이 원인으로 는 교차로 내 차량의 통행속도와 교차로 폭이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구는 교차로 내 중앙버스전용차로를 통행하는 버스 차량과 인근 일반차량들과의 정지선에 차별성을 두어 시야를 확보하며, 안전성을 문제로 현재 U-turn차로를 운영하지 않고 있는 중앙버스전용차로에 대해 교차로의 운영효율성에 중점을 두어 U-turn을 허용할 경우에 대한 정지선 후퇴거리를 선정하였다. 중앙버스전용차로가 운영되고 있는 교차로내 버스 정지선 후퇴에 대한 일반적 기준이 마련되지 않은 상태에서



속도, 설계요소와 기하구조(횡단보도, 교차로 폭)를 고려하여 버스전용차로 내 정지선 후퇴거리를 제시하는데 의의가 있다고 할 수 있다.

하지만, U-turn 차량을 고려함에 있어 버스전용차로 내 버스차량과의 일반 U-turn차량과의 상충으로 인해 측면사고 위험이 높으나, 이는 버스와 일반 차량 운전자에 대한 지속적인 교육 실시와 교차로 운영에 대한 홍보, 노면 표지 및 별도의 방호벽 및 블라드 등의 강제적인 회전 제약 시설물 설치로 인해 사고의 위험을 감소시킬 수 있을 것이다. 또한 중앙버스 전용차로제의 문제점중 하나인 차로내 버스정류장 설치로 인한 보행자 이동의 안전문제, 정지선 후퇴 적용시 침두시 버스 증차로 인한 대기차량의 증가로 일부교차로에 지정체가 발생하여 버스정시성 문제에 대한 효율적인 신호운영방안을 강구하여야 할 것이다.

본 논문의 한계 및 향후과제는 다음과 같다.

첫째, 버스 정지선 후퇴로 인해 발생될 수 있는 버스 차량의 정체 가능성과 효율적 신호 운영방안, 좌회전 및 U-turn 적용으로 인한 교차로 서비스 수준 변화분석, 현재 U-turn 차량의 속도 자료를 직진 통행속도 자료를 적용하고 있어 회전 유형별 속도변화에 대한 추가적 연구를 하여야 할 것이다.

둘째, 교차로 인근 차로 중앙에 정류장 설치되어 있는 경우의 적정 시거 확보를 위한 추가적인 중앙버스전용차로 정지선 후퇴거리를 분석을 하여야 할 것이다.

셋째, 교통량이 많은 교차로에 대하여는 인접교차로에 영향을 미치게 되어 전체적인 네트워크 측면에 있어 원활한 교통흐름이 어렵게 된다. 이에 한 교차로를 대상으로 할 경우와 인접교차로와의 연동하여 중앙버스전용차로내 정지선 후퇴를 적용하여 U-turn 및 좌회전 차로 운영에 따른 전체 네트워크 측면을 다양하게 분석할 필요가 있을 것으로 고려된다.

마지막으로 기존 중앙버스전용차로 내 정지선 후퇴길이 적용에 대한

평가지표를 선정(차로별 교통량, 속도, 포화교통류율, 지체도 등) 후 시뮬레이션 분석을 통한 교차로 평가 수행하여 정지선 후퇴로 인한 교차로 운영효율성에 대한 연구가 강구되어야 할 것이다.

## ■ 참고문헌

1. 임준범(2012), 「서울시 버스전용차로구간의 버스사고 영향요인 분석 연구」, 한국도로학회 논문집 제 14권 2호(2012년 4월) : 145-155
2. 주영수(2010), 「차량 주행궤적 분석을 통한 차로 폭 설계방법에 관한 연구」, 대구대학교 대학원 석사학위 논문
3. 박광원(2009), 「도시부 신호교차로에서의 U-turn 운영 기준 정립에 관한 연구」, 명지대학교 대학원 석사학위 논문
4. 이정환(2008), 「신호교차로에서 U-turn 허용구간의 위치 및 적정길이 산정에 관한 연구」, 대한교통학회지 제26권 제1호(2008년 2월)
5. 정만근(2008), 「중앙버스전용차로의 효율성 제고를 위한 운영체계 개선방안 연구」, 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문
6. 오 훈(2006), 「중앙 버스 전용차로제에서 일반 차량 좌회전 허용시 버스 정지선 후퇴에 관한 연구」, 서울대학교 대학원 석사학위 논문
7. 김기용(2000), 「교차로 좌회전 궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구」, 대한교통학회지 제18권 제3호(2000년 6월)
8. 김기용(2000), 「물방울교통섬이 있는 교차로 설계 시 좌회전궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구」, 단국대학교 대학원 석사학위 논문
9. 문재필(1998), 「U-turn의 교통 특성 및 다중 U-turn 용량 분석」, 대한교통학회지 제16권 제2호(1998년)
10. 박용진(1997). 「U-turn 이동류가 신호교차로에 미치는 영향에 대한 연구」, 대한국토학회지 제87권(1997년)
11. 서울시정개발연구원(1997), 「버스전용차로 평가 및 개선방안」
12. 국토해양부(2012), 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」
13. 한국건설교통기술평가원(2006), 「간선급행버스체계(BRT) 설계지침

연구보고서」

14. 경찰청(2005), 「교통신호기 설치·관리매뉴얼」
15. 교통공학원론(2009)
16. 서울시 도로교통정보(<http://transport.seoul.go.kr>)
17. 서울 통계(<http://stat.seoul.go.kr/>)

## Abstract

# A Study on Backing Up the Bus Stop Line to Operate U-turn by Intersection Attributes

– Focused on Median Exclusive Bus Lane in Urban  
area –

Advised by  
Prof. Lee, Youngihn

December, 2012

submitted by  
Pak, Junghwan

Department of Environmental Planning  
Graduate School of Environmental Studies  
Seoul National University

## Abstract

A median exclusive bus lane system has been gradually expended in Seoul metropolitan area in accordance with the government's policy to reform public transportation system since July 2004. This bus system has improved speed and reliability of bus, which made people more comfortable.

Despite the improvement of bus system, a lot of vehicles except for buses have still made considerable delays in urban intersections. Even though the Korean government has tried to solve that negative phenomenon, it has been hard to find solutions so far. Especially, traffic signal systems has been reformed in order to diminish intersection delays by several transportation institutes. However, those institutes have not considered some measures to back up the bus stop lines of the median exclusive bus lane system. These measures seem to improve the flows of vehicles by efficiently operating intersections that had made unnecessary detours through P-turn or U-turn. It made pedestrians more safe and comfortable by reducing vehicles that make U-turn or left turn on the side streets of residential areas.

This study suggests some methodologies for calculating appropriate backing-up distances of the median exclusive bus lanes in order to effectively run intersections. In fact, this study presumed that the left-turn and U-turn can be applied to the intersections that have the median exclusive bus lanes. This study selected four intersections — Go-sok terminal, Gang-nam station, Non-hyun station and Bang-bang intersection — in Gang-nam district in

southeast of Seoul.

The methodologies of this study are following. First, this study defined some factors to calculate backing-up distances: recognition response time, sight distance, dilemma zone, radius of curve and minimum radius of curve of U-turn.

There are some criteria that have to be considered at first. The intersection design greatly depends on the driver's recognition response time determined by vehicle lane width or speed of vehicles. For those reasons, the yellow time is gradually being extended, so the dilemma zones are also being extended, which can cause some accidents. However, determining the backing-up distances by applying dilemma zones in all intersections could derive lots of delays, it can worsen operation efficiency. Thus, this study suggested some principles to adopt dilemma zones to intersections.

This study determined the applicability of the dilemma zones by restricting vehicle speeds or intersection width based on the maximum permitted U-turn distance of 18m. In addition, the intersections of 32m width were excluded in application targets. The intersections with crosswalks were also excluded because those are satisfied with the radius of curve.

With those criteria, this study has adopted the methodologies of calculating backing-up distances considering the geometric structures of intersections and vehicle trips. In analysis results, the backing-up distance of near 10m was estimated in the intersections whose width is below the maximum permitted distances with no crosswalks. Especially, the comparing results between the Go-sok terminal (the backing-up distance is 10.8m) and Gang-nam station (the backing-up

distance is 9.7m) intersections showed that the gap of backing-up distances between them seemed to be made by the vehicle speeds and widths of intersections.

Furthermore, the dilemma zones and radius of curve were not adopted in the Non-hyun (more than maximum permitted intersection width even though there is no crosswalk) and Bang-bang (more than maximum permitted intersection width by crosswalks, obtaining sufficient radius of curve) intersections. Thus, the recognition response time and radius of curve were just applied, and the results of those intersections were respectively 6.46m, 6.34m.

The results and further studies are following.

First, some additional studies are needed such as a study on the possibilities of making bus delays which can be made by the backing-up of bus stop lines or a study on the methodologies to efficiently operating traffic signals.

Second, a study on an additional backing-up distance of the median exclusive bus lane system is necessary to get an appropriate sight distance when the bus-stops are located in the middle of vehicle lanes near intersections.

Next, an analysis to reflect the effects in the single/multiple intersection or total network through operating the U-turn or left-turn is needed.

Finally, after establishing some indices to evaluate the performance of backing-up distances in the previous median exclusive bus lanes, an study on the operation efficiency of intersections that backing-up are applied is required through some simulation analyses.



- ◆ Key words : median exclusive bus lane, backing up,  
recognition response time, sight distance,  
dilemma zone, radius of curve
- ◆ student number : 2010-22313